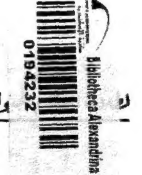
منشورات جامعة حلب
كلية العلوم
قسم الجيولوجيا

الجيولوجيا الفيزيائية

- ٢ -

الدكتور
أحمد محمد محمد
أستاذ مساعد في كلية العلوم
جامعة حلب



مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية
١٤١٩ هـ / ١٩٩٨ م

منشورات جامعة حلب
كلية العلوم
قسم الجيولوجيا

الجيولوجيا الفيزيائية

- ٢ -

الدكتور
أحمد محمد محمد
أستاذ مساعد في كلية العلوم
جامعة حلب

لطلاب العلوم الجيولوجية

العام الدراسي
١٩٩٤/ ١٩٩٥

المقدمة

يشكل موضوع هذا الكتاب مدخلا اساسيا للجيولوجيين لفهم واستيعاب العمليات الداخلية التي تحدث في اعماق الارض وتلك التي تتطور على سطحها والتي تؤدي الى تكوين صخور وتراكيب جيولوجية وجيومورفولوجية مختلفة. فالملاحظات الجيولوجية تدل بشكل واضح على ان الملامح الخارجية والداخلية للقشرة الارضية في تغير مستمر.

وينقسم هذا الكتاب الى بابين ، يعالج الاول منهما العمليات الجيولوجية الخارجية، فيبين الدور الذي تلعبه التجوية في تفتيت وتحطيم الصخور وتأثيراتها على القشرة الارضية ثم يستعرض الفعل الجيولوجي للرياح والانهار والمياه الجوفية والبحار والبحيرات والجليديات . كما يبين الاهمية الاقتصادية والجيولوجية لمجمل هذه العمليات .

اما الباب الثاني فقد خصص لدراسة العمليات الجيولوجية الداخلية حيث تناولنا فيه آلية تشكل المهل واندساسه في اعماق القشرة الارضية وفي اقسامها العليا، والنشاطات البركانية وتوزعاتها الجغرافية كذلك تعرضنا لدراسة التحول وانواعه والتشوهات التكتونية وانواعها واسباب تشكلها وكذلك الهزات الارضية وانواعها وتوزعاتها الجغرافية. واختتمنا الكتاب بفصل تناولنا فيه الفعل الجيولوجي والتقني للانسان والحفاظ على البيئة.

ولقد بذلنا جهدا في استعراض موضوعات هذا الكتاب العلميـــة المختلفة بلغة علمية دقيقة وباسلوب سهل ، ومختصر وزودنـــاه برسوم توضيحية مما يساعد الطالب على استيعابه وفهمه. ولعلنـــا بهذا الجهد المتواضع نكون قد ساهمنا في توضيح وتطوير ابحـــاث هذا المقرر بغية تغطية مفرداته وتقديم الفائدة المرجوة لطلابنـــا الاعزاء وان يشكل لبنة متواضعة في صرح مكتبتنا العلمية المتنامية.

والله ولي التوفيـــق

حلب ـ تموز ١٩٩٤ المؤلـــف

تعتبر الكرة الارضية جسما غير متجانس من حيث تركيبها وبنيتها. فهي تتألف من عدة اغلفة متباينة فيما بينها بخواصها الفيزيائية والكيميائية. وترتبط هذه الاغلفة مع بعضها البعض بعلاقة تبادل وتفاعل وثيقة. فحركة الكتل الهوائية في الغلاف الجوي تؤثر على حركة الماء في الهيدروسفير (الغلاف المائي) من خلال تشكيل الامواج التي تؤدي الى تحطيم صخور اليابسة. كذلك فان مواد الطبقة العلوية من المعطف الموجودة بالحالة المائعة تتغلغل ضمن طبقات القشرة الارضية وتؤدي الى تبادل المواد بين المعطف والقشرة الارضية. وكل غلاف من اغلفة الارض يسبب بدرجة ما النشاط الحياتي للغلاف الاخر. فالبيوسفير يقدم للغلاف الجوي على سبيل المثال الاكسجين ، اما الهيدروسفير فيقدم بخار الماء. والاتموسفير بدوره يحمي العالم العضوي من اشعة الشمس المحرقة، ويختزن الابخرة المنطلقة من سطح الارض والتي تعود ثانية اليه بهيئة هاطل مطري. باختصار فان اشكال التأثير المتبادل للاغلفة الارضية متنوعة لدرجة كبيرة.

تسمى العمليات التي تؤدي الى تشكل القشرة الارضية بالعمليات الجيولوجية. وتنسب اليها عمليات التجوية وفعل الرياح والمياه والزلازل والبراكين وغيرها. ان القوة المحركة لهذه العمليات هي الطاقة الحرارية للشمس ، وطاقة باطن الارض وقوى الجاذبية

الارضية . وحسب مصدر طاقة العمليات الجيولوجية تقسم هذه العمليات الى عمليات جيولوجية خارجية (ذات منشأ خارجي) وهي تحدث على السطح مباشرة او في الطبقات القريبة منه ، وعمليات جيولوجية داخلية (منشأ داخلي) تحدث داخل طبقات القشرة الارضية .

فالعمليات الجيولوجية الخارجية هي عمليات التأثير المتبادل بين قشرة الارض والاغلفة الخارجية لها ، وتؤدي هذه العمليات الى تخريب الصخور وتحطيمها . فالرياح والمياه والجليديات وغيرها من العوامل تشارك بشكل كبير في تحطيم الصخور وتفتيتها ونتيجة لذلك فان اليابسة تنخفض سنويا بمقدار ٠٩ر٠ مم او ٩ سم كل الف سنة . ويتحدد حجم التخريب من خلال كمية المواد المفتته التي تأتي الى البحار والمحيطات من اليابسة ولو حدثت على سطح الارض ، فقط عمليات التحطيم لكانت الاجزاء القارية التي ارتفاعها ٨٧٥ متر قد ساوت سطح المحيطات خلال ٧ر٩ مليون سنة .

ويصبح قاع المحيطات مستويا بفعل املاء المنخفضات البحرية بالرسوبات المحمولة من اليابسة حيث يشارك في نقلها قوى الجاذبية الارضية والرياح والمياه . وتكون عملية تراكم الرسوبات بشكل ابطأ بكثير من عمليات تخريب اليابسة . فالمساحات التي تشغلها البحار والمحيطات إكبر بكثير من مساحة اليابسة . وتتغير سرعة تراكم الرسوبات بمقدار ابتعادها عن الشاطئ . ففي المناطق الضحلة المياه تبلغ هذه السرعة ٩٠ مم ، وتنخفض في الاجزاء ذات المياه العميقة حتى ١ مم كل الف سنة . وعلى الرغم من ان سرعة تراكم الرسوبات صغيرة جدا الا انه خلال فترة طويلة تتراكم سماكات لا بأس بها .

وعند سرعة تبلغ ١٠مم كل الف سنة يمكن ان تتشكل سماكة من الرسوبات مقدارها كيلومتر خلال مليون سنة . ومن خلال ما تقدم نستنتج بأن العمليات الجيولوجية الخارجية تؤدي الى تسوية سطح اليابسة وقاع المحيط .

اما العمليات الجيولوجية الداخلية فتقود الى تشكل الجبال والمخاريط البركانية ، والحفر والمنخفضات المحيطية . وتلعب الحركات التكتونية الدور الاساسي في العمليات الجيولوجيةالداخلية . ويمكن ان تكون هذه الحركات اهتزازية بطيئة او بشكل غوص سريع وخاطف لسطح الارض بسبب انتقال كتل القشرة الارضية وتشكيل شقوق عميقة ومرتفعات بنفس الوقت ونتيجة لذلك فان اجزاء اليابسة يمكن ان تصبح قاعا للبحار والمحيطات والعكس صحيح . كما تلعب عمليات النشاط المغماتي والتحول دورا كبيرا في العمليات الجيولوجية الداخلية .

ان نمو الاشكال التضاريسية الايجابية (المخاريط البركانية والجبال وغيرها) ينشط ويسرع العمليات الجيولوجية الخارجية ، وبمقدار تسوية هذه التضاريس تخف حدة هذه العمليات وتتلاشى . كما ان انتقال كتل ضخمة من احد اجزاء سطح الارض الى الجزء الاخر يمكن ان يؤدي الى تخريب توازن انتشار المواد في القشرة الارضية . وبالتالي يساعد هذا على ظهور حركات تكتونية فعالة ونشطة . واخيرا فان سرعة ومقياس تأثير العمليات الجيولوجية تتغير بشكل دوري في الزمان والمكان .

١ - العمليات الجيولوجية الخارجية

١-١- التجوية

١-١-١- مفهوم التجوية:

التجوية هي مجمل عمليات التحطيم الفيزيائي والفساد الكيميائي التي تطرأ على الفلزات والصخور الموجودة على سطح الارض تحت تأثير حرارة الشمس والماء والغازات الجوية والكائنات العضوية. بمعنى آخر هي مجموعة التغيرات التي تطرأ على الفلزات المكونة للصخور بفعل عوامل فيزيائية وكيميائية وعضوية مما يجعل هذه الفلزات غير ثابتة وبالتالي تبدأ بالتفكك .

تؤثر عمليات التجوية بشكل فعال على السطح، حيث تهيء المياه الجارية السطحية والرياح والظروف الملائمة لاستمرارية عملها التخريبي . وتتعلق شدة تأثير عمليات التجوية بعوامل كثيرة من اهمها عوامل التجوية بحد ذاتها وتركيب الصخور وملاطها، والبنية الجيولوجية للمنطقة وغيرها من العوامل. فيكون تأثير التجوية كبيرا في الصخور المولفة من حبات مختلفة وكبيرة، كذلك فان الصخور الرملية ذات الملاط الفضاري تكون اكثر تأثرا بعمليات التجوية من نفس الصخور التي ملاطها سيليسي ، اضافة لذلك فان عمق تغلغل عوامل التجوية في التشكيلات الصخرية يتعلق بشكل أساسي بدرجة تشقق هذه الصخور وعمق وعرض هذه الشقوق ، اذ يكون التغلغل على اشده عندما تكون المنطقة مخلخلة تكتونيا (فوالق وشقوق تكتونية). ان التحول الذي يطرأ على الصخور نتيجة التجوية لا يكون متجانسا عادة. فأحيانا تتفتت الصخور الى قطع ذات حجوم مختلفة، او قد تصل الى درجة تنفصل

فيها الفلزات المؤلفة للصخور وتتشكل فلزات جديدة تختلف تمــام الاختلاف عن الفلزات الاولية .

١-١-٢- مظاهر التجوية :

تنشأ عملية التجوية، كما ذكرنا اعلاه، بمشاركة مجموعة من العوامل يختلف دور كل منها عن الاخر بشكل كبير. ولكن حسب شــدة تأثير عوامل التجوية هذه او تلك، وكذلك حسب تراكيب الصخــور والظروف المناخية السائدة يميز بين نوعين من التجوية : تجويــة فيزيائية واخرى كيمياوية . اما بروز او سيطرة اي منهما بالنسبـة للاخر فهو يرتبط بشكل اساسي بالشروط المناخية المسيطرة، والتضاريس والتكتونية وتركيب الصخور وغيرها من العوامل .

١-١-٢-١- التجوية الفيزيائية :

تقود التجوية الفيزيائية الى عملية التحطيم الميكانيكــي للصخور وتفتيتها دون اي تغيير في تركيبها . واهم العوامل التــي تسبب تفتيت الصخور وتحطيمها في منطقة التجوية هي تقلبات درجات الحرارة الناتجة عن تغيرات الفعالية الشمسية وكذلك تجمد الميــاه في مسامات وشقوق الصخور، وتبلور الاملاح ونشاط المتعضيات .... الخ. وحسب العامل المسيطر في التجوية نميز ضمن التجوية الفيزيائيــة نوعين اساسيين :

آ- التجوية الحرارية :

وهي احدى مظاهر التجوية الفيزيائية التي تحدث نتيجة تقلبات درجات الحرارة اليومية والفصلية، والتي تسبب باستمرار تسخيــن الصخور وتبريدها وبالتالي تؤدي الى تمدد هذه الصخور، وزيــادة

وزنها او الى تقلصها ونقصان حجمها ونتيجة لتكرار هذه العمليـــــة تتفتت الصخور الى قطع صغيرة مختلفة الحجوم .

ويكون تأثير الحرارة اكثر وضوحا في الصخور غير المتجانســـة التركيب كالغرانيت والسيانيت والغنيس وذلك من جراء تنوع صفـــات فلزاتها . فتغير حجوم مختلف فلزات هذه الصخور عند تسخينها وتبريدها يحدث بشكل مختلف جدا ، وبالتالي تحدث في الصخور قوى جهد تضعـــف قوى الارتباط (التماسك) بين حبات هذه الفلزات وتجعل الصخر يتفتت في نهاية المطاف . وفي الصخور المتجانسة التركيب كالرخـــــام والكوارتزيت والكالسيت يكون تأثير التجوية واضحا ايضا . فغالبية الفلزات كما هو معروف ، تتمتع بتباين خواصها الفيزيائية ومنهـــا السعة الحرارية وعامل التمدد وذلك حسب الاتجاهات البلوريـــــة . وباعتبار انه في اي صخر يكون اتجاه حباته مختلف جدا فانه عنـــد حدوث تجوية فيزيائية حرارية تنشأ قوى ضغط محلية تقود في النهاية الى تفتيت الصخور وتحطيمها .

تتعلق التجوية الحرارية ايضا بلون الفلزات . فالفلـــزات القاتمة اللون تسخن بشكل اسرع من الفلزات الفاتحة اللون. امـــا التقلص فيكون تقريبا واحدا في كلا النوعين من الفلزات . فصخـر الغابرو الذي يدخل في تركيبه الفلزي اكثر من ٥٠٪ من الفلزات القاتمة اللون يتخرب بشكل اسرع واشد من صخر الغرانيت عند نفس التغيرات الحرارية .

كذلك ترتبط التجوية الحرارية ببنية ونسيج وتوضع التشكيلات الصخرية ، فالصخور المؤلفة من حبيبات متجانسة الابعاد يكـــون تأثرها بالتجوية الحرارية اقل من الصخور ذات البنيةالبورفيريـــة .

كما ان الصخور التي نسيجها كتلي تكون اكثر ثباتا من الصخور ذات النسيج الفراغي او المتطبق . وفي الصخور ذات النسيج المتطبق تكون التجوية الحرارية فيها باتجاه التطبق اسرع بثلاث مرات من التجوية بالاتجاه العمودي على التطبق . كذلك تؤثر الصفات الميكانيكية المتعلقة ببنية وتوضع الصخور على عمليات التجوية الحرارية . فالصخور الهشة تتفتت بشكل اسرع من الصخور اللزجة . ايضا تتجاوب الصخور المشققة مع التجوية الحرارية بشكل اسرع من الصخور الكتلية غير المشققة .

ويكون تأثير درجة الحرارة على تفتيت الصخور وتحطيمها اكثر وضوحا في المناطق الصحراوية ، حيث تتفاوت درجات الحرارة بشكل كبير . فمعدل التفاوت اليومي في هذه المناطق يبلغ ٥٠-٦٠ درجة مئوية ، اما المعدل الفعلي فيبلغ تقريبا ١٠٠ درجة مئوية . كذلك تتميز المناطق الصحراوية بنقص كبير في رطوبة الجو ، اذ يبلغ معدل الرطوبة ١٠ ٪ وينخفض في بعض الاحيان الى ٢-٣ ٪ . فالتبريد المفاجيء للصخور من جراء هطول الامطار يؤدي الى قوى ضغط غير متجانس على الحبات الصخرية وبالتالي تتفتت الصخور بسهولة .

تزداد شدة التجوية الحرارية ايضا في منحدرات الجبال المرتفعة اكثر منها في المناطق المنخفضة المجاورة ، بفعل الهواء النقي الذي يسمح للاشعة الشمسية ان تظهر بشكل كبير . ان المواد المفتتة الناتجة من التجوية الحرارية تتدحرج على طول المنحدرات تحت تأثير قوى الثقالة الارضية وتتراكم في النهاية في اسفل هذه المنحدرات مشكلة ما يسمى برواسب الجاذبية .

ب ـ التجوية الميكانيكية :

وهي عبارة عن عملية تفتت الصخور بفعل عوامل ميكانيكية خارجية مثل التشققات الناجمة عن تجمد المياه، ونمو البلورات وفعل البكتريات ونمو جذور النباتات وغيرها.

ان تجمد المياه وذوبانها في مسامات وشقوق الصخور، عند تغيرات درجة الحرارة بالقرب من نقطة التجمد وتكرار هذه العملية، يؤدي الى تمدد الصخور وتقلصها وبالتالي تحدث عملية تفتيت وتكسر لهذه الصخور. فتجمد المياه وتحويلها الى جليد يزيد حجمها بمقدار ٩ ٪ مما يسبب نشوء ضغطمقداره ١٠٠٠كغ/سم٢ على جدران الشقوق يؤدي الى تحطيم وتفتيت اكثر الصخور صلابة الى شظايا مختلفة الحجوم وتسمى هذه العملية التجوية بالتجلد .

تتعلق شدة التجوية بالتجلد بالصفات الفيزيائية ـ المائية للصخور، اي بوجود شقوق ومسامات في التشكيلات الصخرية، وكذلك بوجود المياه في هذه الشقوق والمساماتحايضا بوجود درجات حرارة منخفضة ومتغيرة. فالصخور ذات المسامات والفراغات الدقيقة والسعة المائية الكبيرة كالفضار يكون تأثرها بالتجوية بالتجلد كبيرا بالمقارنة مع الصخور ذات السعة المائية القليلة كالحصى والرمال ذات الحبات الكبيرة التي تسمح للمياه بالتسرب والارتشاح من خلالها.

تؤثر التبدلات الحرارية المنخفضة كذلك بشكل واضح على عمق تغلغل التجوية بالتجلد. فاذا كانت هذه التبدلات يومية كما هو الحال في الاقاليم الجبلية العالية ذات المناخ الحار، فان البرودة لا تتغلغل الى اعماق كبيرة وبالتالي تكون نواتج التجوية بالتجلد قليلة السماكة صغيرة بحجومها. اما في المناطق القطبية والقريبة

منها، وايضا في المناطق الجبلية وخاصة فوق خط الثلج الدائـــم، فتتغلغل التجوية بالتجلد الى اعماق كبيرة ونجد مساحات واسعـــة مغطاة بقطع صخرية ذات حجوم مختلفة ناتجة عن التجوية بالتجلد.

يتضح مما سبق ان التجوية بالتجلد تحدث نتيجة نمو بلـــورات جليدية في فراغات ومسامات الصخور بسبب تجلد المياه التي تمـــلأ هذه المسامات، كذلك بنفس الطريقة تتم عملية تفتيت الصخور بفعـــل نمو بلورات الفلزات مثل الكالسيت والهاليت وغيرها ضمن الشقـــوق والمسامات الموجودة في هذه الصخور. وتلاحظ هذه الظاهرة بشكل جيـــد في المناطق ذات المناخ الجاف، حيث يؤدي ارتفاع درجة الحـــرارة في النهار الى صعود المياه الجوفية بالخاصة الشعرية الى السطـــح فتتبخر وتتبلور الاملاح المنحلة ضمن الشقوق والمسامات مسببة بذلـــك قوى ضغط كافية على جدران الشقوق تؤدي الى تحطيم الصخـــــــور وتفتيتها.

كذلك تساعد المتعضيات والنباتات بشكل لا بأس به في عمليـــة التجوية الميكانيكية حيث يبدأ تفكك الصخور بمجرد ان يبدأ النشاط الحيوي فيها. فالديدان الترابية والنمل تلعب دورا مهما في اعداد الصخر للتفكك كخطوة اولى لحته ونقله بواسطة المياه والريـــــاح والجليديات وذلك بسبب اعدادها الهائلة وسطيا (١٥٠٠٠٠) في النصف هكتار وتستطيع ان تنقل ١٠-١٥ طن من المواد الى السطح في السنـــة الواحدة.

اما النباتات فتخترق جذورها شقوق ومسامات الصخور فتفتتهـــا، وذلك لان نمو جذورها يطبق ضغطا كبيرا على جدران الشقوق مسببـــا بذلك تفتيت الصخور الى قطع وشظايا صغيرة. الا انه يجب التذكيـــر

بأن النباتات لها دور حيوي مهم ، اذ ان جذورها تعمل على تثبيت التربة ويمنع انزلاقها على المنحدرات ، كما انها تعمل على تخفيف قوة مياه الامطار، وتعمل على ذوبان الجليد ببطء.

ان التجوية الفيزياوية كثيرا ما تؤدي الى انهيار وسقوط الصخور وخاصة في مناطق المنحدرات الجبلية ومما لاشك فيه ان هذا النوع من التجوية يشارك بشكل فعال في تغيير معالم تضاريس اليابسة

واخيرا يعتبر الانسان عنصرا نشيطا من عناصر التجوية الميكانيكية فهو يقوم سنويا باستخراج ملايين الامتار المكعبة من الصخور والفلزات من المقالع والمناجم ، كما يقوم بتحريك كتل صخرية بكميات كبيرة من امكنتها وهذا ما يمكن مقارنته بعمل الحت النهري.

ا-ا-٢-ا- التجوية الكيمياوية :

وهي عملية فساد الصخور وتغير تركيبها الكيمياوي تحت تأثير العوامل الخارجية مثل مياه الامطار، المياه الجارية السطحية، الغازات الجوية، الحموض العضوية وغيرها.

فالمياه السطحية المحملة بالمواد الكيماوية تسبب عند اختراقها لجسم الصخر عمليات انحلال واكسدة وتميؤ واماهة للفلزات المكونة لهذا الصخر . وبالتالي تظهر بداية تغير كيمياوي كبير في تركيب هذا الصخر لا يلبث ان يزداد اتساعا مع الزمن .

عوامل التجوية الكيمياوية :

تتعلق شدة واتجاه التجوية الكيمياوية بشكل اساسي بالتركيب الكيمياوي للصخور الام المعرضة للتجوية، وببنية هذه الصخور وكذلك الظروف المناخية السائدة في المنطقة. ان العامل الاساسي في التجوية

الكيمياوية هو الماء المزود بالاكسجين وغاز ثاني اوكسيد الكربون وقدرة هذا الماء على الاتحاد مع العناصر الكيمياوية المكونة للفلزات بطرق مختلفة وتكوينه فلزات جديدة اكثر مقاومة لعوامل التجوية من الفلزات الاولية .

ان اكثر الصخور تأثرا بعمليات التجوية الكيمياوية هي الصخور المغماتية ويأتي بعدها بالمرتبة الثانية الصخور المتحولة . وضمن الصخور المغماتية فان الصخور الحامضية تفسد بشكل ابطأ بكثير من الصخور الاساسية والفوق اساسية .

وبفعل التفاعلات المتبادلة في الصخور المعرضة للتجوية الكيمياوية، تتناقص بشكل واضح محتويات الصخور من SiO_2 ، MNO ، CaO ، Na_2O ، K_2O وتزداد محتويات Fe_2O_3, Al_2O_3 والماء. اما الصخور الرسوبية فهي اكثر ثباتا امام التجوية الكيمياوية ولكنها بتغير كيمياوية الوسط يمكن ان تتأثر بعمليات التجوية الكيمياوية .

كذلك تتعلق سرعة التجوية الكيمياوية بالظروف المناخية وبتضاريس المنطقة . ففي المناخ الحار والرطب تزداد شدة تغلغل عمليات التجوية الكيمياوية وتنخفض في المناطق التي يسود فيهما المناخ البارد والمعتدل .

وتلعب المتعضيات والنباتات دورا مهما في عمليات التجوية الكيمياوية ، ولقد بيّن العالمان الروسيان فيرنادسكي وبوليينوف ان المتعضيات هي من اهم العوامل في التجوية الكيمياوية ، حيث تشكل الكثير من نواتج التجوية بفعل هذه المتعضيات والنباتات فقد وجد بأن النباتات التي تلعب دورا ميكانيكيا في عمليات

التجوية (التجوية الميكانيكية) يمكن لجذورها ان تفرز حموضــــا توءدي الى حل الصخور. اما البكتريات الموجودة في المياه فتقــوم بتحليل البقايا النباتية والحيوانية وينطلق نتيجة لذلك غـــاز ثاني اوكسيد الكربون وتتشكل بعض الاحماض العضوية بالاضافة الـــى النشادر وحمض الازوت وهذه كله يساعد على زيادة قدرة الميــــاه الموجودة في التربة على الاذابة حيث يتكون في النتيجة مركب عضوي معقد ذو لون بني يشبه الهلام يعرف بالدبال . ويمكن هذا المركـب المياه التي تحويه من حل مواد معينة لا تستطيع المياه ان تحلهــا في الاحوال العادية كالليمونيت مثلا .

عمليات التجوية الكيمياوية :

تصنف عمليات التجوية الكيمياوية بالعمليات الاربعة التاليـة التي تكون مترافقة مع بعضها البعض في الظروف الطبيعية وهي :

١- الاكسدة :

تنتشر عملية الاكسدة بشكل واضح في الصخور التي تحتوي فـــي تركيبها على فلزات الحديد. ويلعب الماء والاكسجين الحر الــــدور الاساسي في عمليات الاكسدة. وتظهر عمليات الاكسدة على السطح وفـــي مناطق القشرة الارضية التي تتسرب اليها مياه الامطار حتى حــــدود معينة ثم تتلاشى بعدها . ويتعلق عمق عمليات الاكسدة (عمق حدودهــا) بتركيب ومسامية صخور المنطقة، وعمق توضع المياه الجوفية وتضاريس المنطقة وغيرها من العوامل . ففي المناطق الجبلية يمكن ان يصـل عمق حدود منطقة الاكسدة حتى ١٠٠٠ متر. ولكن بشكل عام تعتبر حدود منطقة الاكسدة هي عمق توضع منسوب المياه الجوفية.

تتأثر بعمليات الاكسدة بالدرجة الاولى الفلزات والصخور التـــي

تحوي في تركيبها على الحديد ، الكبريت ، الفاناديوم، المنغنيز، النيكل ، الكوبالت .. الخ. ان اكثر الفلزات تأثرا بعمليات الاكسدة هي الكباريت مثل البيريت والكالكوبيريت والغالينا وغيرها، فبفعل تأثير الاوكسجين المنحل بالماء تنحل هذه الكباريت بسهولة وتتحول في البداية الى كبريتات ثم الى اكاسيد مائية واكاسيد واخيرا الى كربونات وغيرها من الاتحادات الاوكسيجينية ويعبر عن اكسدة الكباريت بشكل عام بالمعادلة التالية :

$$RS + O_2 \longrightarrow RSO_4$$

حيث ان R ــ معدن ثنائي التكافؤ.

وكنموذج لعملية تأكسد السلفيدات هو فلز البيريت الذي يتحول بوجود الاوكسجين الحر والماء الى الليمونيت ويتشكل ايضا حمض الكبريت وفق التفاعل التالي :

$$\underset{\text{البيريت}}{4FeS_2} + 11H_2O + 15O_2 \longrightarrow \underset{\text{الليمونيت}}{2Fe_2O_3.3H_2O} + 8H_2SO_4$$

ويحتل فلز الليمونيت مكان البيريت في الصخر، اما حمض الكبريت فينتقل بالسوائل الحالة الى امكنة اخرى .

تشكل الكباريت نتيجة اكسدتها تجمعات للاكاسيد والاكاسيد المائية الحديدية تسمى بالقبعة الحديدية، حيث تتلون اجزائها السفلية باللون البني الصدئي ، وتتراوح سماكتها بين ١-٢ متر وحتى بضعة عشرات الامتار .

وتحدث عملية الاكسدة ايضا في بعض الصخور الرسوبية كالصخور الرملية الغضارية والمارلية والكلسية المحتوية على فلزات

حديدية ، ويلاحظ تلون هذه الصخور باللون البني نتيجة تشكل اكاسيد حديدية فيها ٠

٢ـ الاماهة :

وهي خاصة امتصاص الفلزات للماء والمثال المشهور على ذلك هو اشباع فلز الانهيدريت بالماء وتحوله الى جبس حسب التفاعل التالي :

$$\underset{\text{انهيدريت}}{CaSO_4} + 2H_2O \longrightarrow \underset{\text{جبس}}{CaSO_4 \cdot 2H_2O}$$

وتترافق عملية الاماهة عادة بزيادة حجم الفلز الذي ارتبطت بلوراته بجزيئات الماء ٠ ففلز الجبس يزداد حجمه بمقدار ٣٣٪ بالمقارنة مع فلز الانهيدريت ٠ كذلك فان عملية الاماهة التي تترافق عادة بالاكسدة تؤدي الى اعادة بناء شبكة الفلز البلورية ٠ وهناك مثال اخر وهو اماهة فلز الهيماتيت الذي يتحول الى مركب اكثر شباتسما وهو الليمونيت وذلك حسب المعادلة التالية :

$$Fe_2O_3 + nH_2O \longrightarrow Fe_2O_3 \cdot nH_2O$$

تؤدي عملية الاماهة الى نشوء قوى جهد داخلية في الصخر، مما يؤدي الى زيادة التشققات الصخرية ٠ ان المياه المتشربة لا تتحرر من الفلزات الا بتخريب كامل للبنية البلورية وبدرجات عالية من الحرارة قد تصل الى ٤٠٠ درجة مئوية ٠

٣ـ الانحلال :

عبارة عن عملية تحول المادة الفلزية الى محلول وذلك نتيجة الفعل المشترك للماء وغاز ثاني اوكسيد الكربون على الصخور ـ وتتعلق عملية انحلال الصخور بالدرجة الاولى بالتركيب الكيميائي للصخور نفسها ، بالنشاط الكيميائي للمياه وبالشروط المناخية المسيطرة ٠

ان اكثر الصخور تأثرا بالانحلال هي الصخور الرسوبية تليهـــا الصخور المتحولة واخيرا الصخور المغماتية . اما بالنسبة للمعادن فتأتي بالدرجة الاولى حسب قابليتها للانحلال الكلوريدات ويأتــي بعدها السلفات ومن ثم الكربونات . وتزداد سرعة انحلال الكربونات بانخفاض درجة حرارة المادة الحالة عكس الكلوريدات والسلفـــات. اما السلفيدات والسيليكات فتتمتع بانحلالية ضعيفة على الرغم مــن انها بوجود غاز ثاني اوكسيد الكربون تتحول الى اتحادات كربوناتية كما هو الحال في منطقة الاكسدة حيث تتحول الكباريت النحاسية الـــى كربونات نحاسية (ملاكيت $Cu_2CO_3(OH)_2$ ، ازوريت $2CnCO_3.Cu(OH)_2$) ويلعب محتوى المياه من شوارد H^+, OH^- دورا اساسيا في عمليات الانحلال، فالمحاليل الحامضية الغنية بشوارد H^+ قادرة على حل المركبــات الكلسية والمغنزية والصودية والحديدية، اما المحاليل القلويـــة الغنية بشوارد OH^- فانها ايضا قادرة على حل المركبات الاكثـــر مقاومة للانحلال بما فيها الكوارتز.

كذلك فان القدرة الانحلالية للمياه تتعلق بالشروط المناخيـة ، فعندما ترتفع درجة الحرارة من الصفر الى ٣٠ درجة مئوية فان التفكك الشاردي يرتفع الى الضعف وبالتالي فان الانحلال يزداد في المنـــاخ الدافيء والرطب .

كذلك تبين بان الانحلال يزداد عندما تحتوي المياه على نسبـــة من CO_2، حيث يرتفع تركيز شوارد الهيدروجين في المياه المشبعـــة بـ CO_2 الى ٣٠٠ مرة.

ع- الحلمهـــة :

تؤدي هذه العملية الى انحلال وتفكيك الشبكات البلوريـــــة

للفلزات المكونة للصخور تحت تأثير الماء وغاز ثاني اوكسيـــــد الكربون ،وتشكيل فلزات اخرى ذات شبكات بلورية جديدة،ونقل عناصـــر اخرى من هذه الصخور بشكل محاليل .

تعتبر الفلزات السيليكاتية اكثر الفلزات تأثرا بالطمهـــة. فالسيليكات التي تشكلت في ظروف من الحرارة والضغط العاليـــــن تتفكك على سطح الارض بوجود الماء وحمض الكربون الى مركباتهـــــا ومكوناتها الاولية ،وتتشكل نتيجة ذلك مركبات كيمياوية جديدة. ويتم نقل بعض هذه المركبات الجديدة بواسطة المياه او المحاليـــــل الكيمياوية ويبقى بعضها الآخر في مكان حدوث الطمهة.

وعند التجوية الكيمياوية بالطمهة للصخور المغماتيـــــة الحامضية او الصخور المتحولة التي تركيبها قريب من تركيب الصخور الحامضية فان اول الفلزات التي تتفكك هي فلزات الميكا ثم فلـزات المفاح واخيرا المرمر. فالمفاح البوتاسي يتفكك تحت تأثير الميـاه المزودة بغاز ثاني اوكسيد الكربون وفق التفاعل التالي :

$$K_2O.Al_2O_36SiO_2 + CO_2 + n\ H_2O \longrightarrow$$

اورتوكلاز

$$Al_2O_32SiO_2.2H_2O + SiO_2nH_2O + K_2O_3$$

كاولينيت   اوبال

اي انه يتشكل نتيجة التجوية الكيمياوية بالطمهة للمفـــاح فلزات الاوبال والكاولينيت التي تبقى في مكان تشكلها لتشكل غطاء يمنع ويعيق عمليات التجوية اللاحقة ويدعى هذا الغطاء بقشـــــرة التجوية. اما المركب الثالث المتشكل وهو كربونات البوتاسيــــوم فينقل بعيدا بواسطة المياه وذلك بسبب قابليته العالية للانحـــلال.

وهذه العملية تتم في المناطق ذات المناخ المعتدل ، اما في المناطق ذات المناخ الحار الاستوائي فتكون تجوية السيليكات بالحلمهة اكثر عمقا ، حيث يتفكك الكاولينين بدوره الى اكاسيد الالمنيوم المائية وفق التفاعل التالي :

$$Al_4Si_4O_{10}(OH)_8 + n\ H_2O + CO_2 \longrightarrow Al_2O_3mH_2O + Si\ O_2\ nH_2O$$

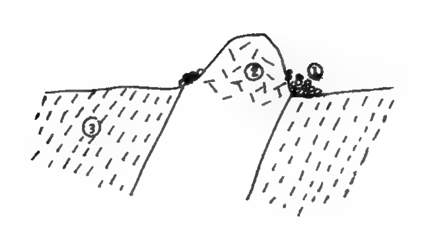
كاولينيت   بوكسيت   اوبال

وتبدي السيليكات الحديدية المغنزية مثل الامفيبولوالبيروكسين والاوليفين التي تدخل في تركيب الصخور الاساسية وفوق الاساسية تأثيرا كبيرا بعملية الحلمهة ، اكثر من فلزات الصخور الحامضية . ففي المرحلة الانتقالية لانحلالها ، يمكن ان يتشكل الكلوريت وبعض الفلزات الغضارية التي يدخل في تركيبها المغنزيوم والصوديوم والبوتاسيوم وربما الحديد مثل المونتموريللونيت والايليت والكاولينيت . وفي ظروف مناخية معتدلة ودافئة يمكن لهذه التوضعات الانتقالية ان تكون ثابتة وتشكل توضعات اقتصادية مفيدة . وتصبح نواتج حلمهة السيليكات الحديدية المغنزية غير ثابتة في المناطق ذات المناخ الجاف وبالتالي تتفكك وتشكل مركبات سهلة الانحلال تنتقل من مكانها ، اما المواد التي تبقى مكان التفكك فهي المواد الصعبة الانحلال مثل اكاسيد الحديد والالمنيوم المائية واللامائية كالهيماتيت والليمونيت والغوتيت ... الخ .

١-١-٣- النتائج الجيولوجية لعمليات التجوية :

تشمل عمليات التجوية الفيزيائية والكيميائية سطح الارض كله الا ان نشاطها يكون بصورة أوضح على اليابسة ، وخاصة في المناطق الجبلية وفي المناطق ذات المناخ الحار والرطب . تتشكل

بفعل عمليات التجوية مجموعتين من المواد : مواد منحلة تنتقل من مكانها بفعل الرياح والمياه الى مسافة محددة او تتدحرج على المنحدرات بفعل قوى الثقالة،ومواد ثابتة تبقى في مكانها تسمى بالتوضعات الايلوفية شكل (١-١)٠



الشكل (١-١)
مخطط تشكل الايلوفيا
١- الايلوفيا
٢- كوارتزيت ٠
٣- غضار صفحي ٠

١-١-٢-١- قشرة التجوية :

تشكل مجموع توضعات التجوية التي تبقى كليا او جزئيا مكانها والتي تنتشر على مساحة ليست كبيرة ولكنها تملك اتصال مع الصخور ما يسمى بقشرة التجوية .

تتصف قشرة التجوية بالخصائص التالية :

١- ترتبط منشئيا مع الصخور الأمّ .

٢- يزداد الفرق بين تركيبها وتركيب الصخور الأمّ من الاسفل نحو الاعلى .

٣- تكون قشرة التجوية مقسمة الى مناطق مختلفة فيما بينها بهذه الدرجة او تلك حسب عمليات التجوية المسيطرة.

٤- التركيب الفلزي لقشرة التجوية متنوع ولكن الصفة العامة لها هي كثرة الفلزات الغضارية

تتشكل قشرةالتجوية بسماكات كبيرةفي المناطق ذات المناخ الحار والرطب والغنية بالمواد العضوية ونميز اربع مراحل اساسية لتطور قشرة التجوية:

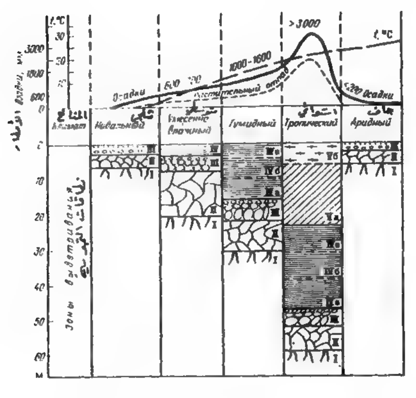
١- مرحلة اولى تسيطر فيها التجوية الفيزياشية كما تتجمع نواتج التحطيم الميكانيكي .

٢- مرحلة سيطرة التجوية الكيمياشية، حيث تتم حلمهةواماهة المركبات الكيمياشية السهلة الانحلال كما تتم فيها اكسدة الفلزات الكبريتية.

٣- المرحلة الثالثة وهي مرحلة تشكل الغضاريات المتبالية كالكاولينيت ويتم في هذه المرحلة نقل الكالسيوم والبوتاسيوم والمغنزيوم من الصخور الام .

٤- اما المرحلة الرابعة والاخيرة فهي مرحلة تشكل اللاتريت .

وبمقدار تطور قشرة التجوية بالعمق يلاحظ عدة نطاقات انتقالية من المناطق الحديثة التجوية للصخور الام الى مواد منحلة كيمياويا بشكل كامل شكل (١-٢)٠



الشكل(١-٢)

توزع نطاقات قشرة التجوية في مختلف الظروف المناخية واكثر هذه النطاقات انتشارا هي التالية :

آ- نطاق كتلي متلاحم (I) يوافق حالة الصخور الام التي لا يلاحظ فيها أيّ آثار للتحطيم بالعين المجردة (الشقوق مجهرية)٠ ولكنها تعرضت لخلخلة او خضخضة بين فلزاتها٠

ب- نطاق كتلي غيرمتلاحم (II) ويتصف بوجود شقوق التجوية التي

توءدي الى تجزئة الصخور الى كتل منفصلة • تركيبه الكيمياشي الفلزي يتوافق مع تركيب الصخور الام •

ـ نطاق حبيبي(III) يتألف من شظايا صغيرة المقاييس اوحبات بلورية منفصلة•

د ـ نطاق غضاري(IV) او منطقة التفتيت الناعم • يمتاز هـذا النطاق بشدة درجة الفساد والتفتت حيث تتفتت الفلـــزات الاولية الى حبات ناعمة جدا تدخل كشوائب مع الفلزات اللاحقة ستشكل مثل الكاولينيت والاكاسيد المائية للالمنيوم والحديد والسيليسيوم• وتكون مسامية الصخور في هذه المنطقة ضعيفــة جدا• وكما ذكرنا اعلاه تختلف شدة عمليات التجوية حســب الظروف المناخية السائدة• ففي المناطق ذات المنــاخ الثلجي تسيطر عمليات التجوية بالتجلد وتتشكل النطاقـــات الثلاثة الاولى شكل (١-٢) • وفي المناطق ذات المناخ الرطب يتشكل النطاق الرابع (IV) الموءلف من المواد الغضاريــة• اما في ظروف المناخ الحار والرطب فتلاحظ زيادة سماكةالنطـــاق الرابع الموءلف من المواد الغضارية ليبلغ ١٥-٢٥ متر،وهـو بدوره ينقسم الى ثلاثة نطاقات اخرى من الدرجة الثانيـــة تتوافق والتركيب الكيمياشي للصخور الام • فمثلا في قشـــرة التجوية للصخور الاساسية نميز ضمن النطاق الرابع الغضـــاري ثلاث مناطق (نطاقات من الدرجة الثانية) ،الاولى موءلفة مـن مجموعة فلزات الالمنيوم السيليكاتية التي تركيبها الفلــزي ميكا وغضار (IVa) • اما الثانية (IVb) فتتألف منالمونمـور يللونيت وتتألف المنطقة الثالثة (IVB) من الكاولينيت،وتبلغ

سماكة طبقات التجوية في المقطع العام لقشرة التجوية حوالـــــي ١٠-١٥ متر ، اما في ظروف المناخ الاستوائي وشبه الاستوائي فتبلغ السماكة حوالي ٤٠-٦٠ متر واكثر شكل (١-٢) .
التجوية نتيجة خلمهة السيليكات الالومونية تجمعات من اكاسيد الحديد والالمنيوم المائية واللامائية وبقايا سيليسية (٧) وتسمى هـــــذه المنطقة بمنطقة لقشرة التجوية اللاتيريتية وتبلغ سماكتها حوالـــي ١٥-٢٠ متر وهي تقسم بدورها الى منطقتين حسب تركيبها الفلـــــزي وخواصها الفيزيائيةوالميكانيكية: منطقة سطحية متبقية من المواد العضوية تليها منطقة تم غسلها من المواد السيليكاتية بفعـــــل الامطار الغزيرة وبقي فيها المواد غير المنحلة كأكاسيد الحديـــد والالمنيوم ، وتتشكل في المناطق التي يسود فيها المناخ الصحراوي الجاف قشرة التجوية الفيزيائية ، ومواد هذه القشرة مشابهة لمواد قشرة المناخ الثلجي ، بينما سماكتها اقل منها بقليل ، تظهر في طبقات التجوية القديمة منها والحديثة ، العديد من المكامن الاقتصادية المفيدة مثل مكامن الغضار والبوكسيت والحديد والنيكل والمنغنيسز ، اضافة الى مكامن المواد النادرة مثل الالماس والذهب والبلاتيـــن ، كما ان تجوية مكامن خامات الكباريت المعدنية تؤدي كما رأينـــا سابقا الى تشكل مكامن ضخمة من اكاسيد تلك المعادن .

وتقود التجوية كعملية جيولوجية الى تخريب واعادة تشكـــل الصخور الاولية. فمن وجهة نظر جيولوجية- هندسية فان الاتجـــــاه الرئيسي لعملية التجوية يتجلى في تغيير الحالة الفيزيائيـــــة والصفات الفيزيائية - الميكانيكية للصخور وذلك بسبب زيادة درجـة التشقق والمسامية، وكذلك بسبب تغيير التركيب الفلزي والبنيـــة

والنسيج للصخور الام خلال عملية التجويه . فالصخور المعرضة للتجوية تمتاز بزيادة مساميتها وبالتالي زيادة قدرتها على امتصاص المياه ولكن من جهة اخرى تنقص متانة وثبات هذه الصخور تحت المنشآت الهندسية.

١-١-٣-٢- تشكل الترب :

تتأثر الصخور بشكل مباشر ودائم بالمتعضيات والنباتات التي تقع على اتصال مباشر معها. فالحشرات والنمل وغيرها من المتعضيات تشارك في تفكيك الصخور، والنباتات تأخذ من الصخور المواد الغذائية اللازمة لها من اتحادات الحديد والكالسيوم والمغنزيوم والفوسفور والكبريت ... الخ ، اما جذورها فتخرب الصخور وتفتتها. بمعنى آخر تتفتت الطبقة السطحية للقشرة الارضية باستمرار وتتحول الى تربة

وتعرف التربة بأنها الجزء العلوي من قشرة التجوية الغني بالحياة العضوية والذي يملك اهمية اقتصادية كبيرة تأتي في المرتبة الثانية بعد المياه الجوفية ،وهي تعكس التاريخ المناخي والجيومورفولوجي للمنطقة، ويختص بدراسة التربة بالتفصيل علم مستقل يسمى بعلم التربة.

ترتبط عمليات تشكل التربة ارتباطا وثيقا بعمليات التجوية فالتجوية لا تستطيع ان تكون التربة من الصخور بل تهيء تلك الصخور لنشوء وتطور التربة.

وتتوافر في نشوء التربة عدة عوامل تعمل متضافرة مع بعضها البعض من اهمها :

١- تركيب الصخر الام الذي تتشكل عليه قشرة التجوية. فقد كان

العلماء يعتقدون بأن تركيب الصخر الأم هو العامل الاساسي في نشوء الترب وقد قسموا الترب الى مجموعتين : ترب متبقية اشتقت مباشرة من الصخور التي تشكلت منها الترب مثل الترب الكلسية والرملية والبازلتية ،وترب منقولة لا تتوضع في أماكن تشكلها وانما تنقل الى اماكن اخرى بفعل عوامل النقل المختلفة وهي مختلفة في تركيبها الكيميائي وفي مقاييس حباتها ومثالها الترب اللحقية والبحرية والجليدية... الخ .

٢- المناخ :ويلعب دورا اساسيا في تشكل الترب فهو يوءثر بشكل مباشر وذلك من خلال تأثير درجة الحرارة والرطوبة في التربة او بشكل غير مباشر وذلك منخلال تأثيره علىالحياةالنباتية . ففي ظروف المناخ الرطب تغسل مياه الامطار الكالسيت والفلزات الاخرى القابلةللانحلال وتترك التربة حامضية بينما تكون التربة في مناطق المناخ الجاف قلوية.

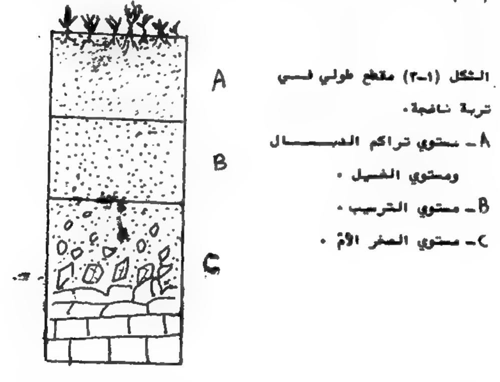
٣- المتعضيات والنباتات : وتعتبر من أهم العوامل الموءثرة على نشوء الترب . فالبقايا العضوية الحيوانية والنباتية تخضع لعمليات بيوكيميائية معقدة ،تبدأ بالتفسخ والتحلل بتأثير الماء والهواء والكبريت ، وتنتهي بتشكل مادة عضوية معقدة التركيب تدعى بالدبال وهي من اهم عناصر التربة والموءثر الاساسي لخصوبتها.

ولقد اظهرت الدراسات أنه بالاضافة الى الفلزات الاولية كالكوارتز والصفاح القلوي والميكا... الخ تحتوي التربة على نواتج التجوية الكيميائية كالكاولينيت وغيره . ومواد عضويةمعقدة

التركيب قاتمة اللون بنية او سوداء تسمى بالدبال •

تتشكل الترب على مختلف الصخور مهما كان تركيبها وبنيتها وفي مختلف الظروف المناخية ويميز حاليا حوالي ٣٠ نوع من الترب •

تتألف التربة عادة من عدة طبقات تختلف فيما بينها بصفات عديدة من اهمها البنية واللون ونوع العمليات التي تجري فيها وهي تشكل ما يسمى بقطاع التربة الذي يتألف من الاقسام التالية: الشكل (١-٢) •



الشكل (١-٢) مقطع طولي في تربة ناضجة•

A ـ مستوى تراكم الدبال ومستوى الغسيل •

B ـ مستوى الترسيب •

C ـ مستوى الصخر الأم •

١ـ الطبقة A وتسمى بالتربة العضوية وهي تمثل المنطقة العلوية من التربة وتتألف من قسمين : علوي يتألف من النبات الطري الطازج والمواد العضوية المتعفنة والدبال ويبلغ سمكه عدة سنتمترات كحد اقصى وقسم سفلي يتميز

بلونه البني القاتم وهو يتألف من جذور النباتات والدبال التي توجد في نطاق معدني من الرمل والغرين والطين.ان المواد الطينية الحاوية على مركبات الالمنيوم والحديد قد غسلت من هذه المنطقة ونفذت الى الطبقة التي تحتها لذلك تسمى هذه المنطقة احيانا بالطبقة المغسولة.

٢- الطبقة B وتسمى طبقة تحت التربة او مستوي الترسيب وتتألف من مواد عضوية ناعمة مع رمل وغرين وطين وهي تتميز بخاصيتها الطينية الغنية بالمعادن حيث تتراكم فيها تخثرات حديدية وكلسية كما تحتوي على ما ئات الالمنيوم .

٣- الطبقة C وهي الطبقة السفلى من التربة وتتمثل بالصخور الأم المولدة للتربة والتي قد تأثرت بعوامل التجوية لكنها لا تزال تحتفظ بقسم كبير من خواصها الكيمياوية.

ان التتابع الطبقي للتربة المذكورة اعلاه قد لا يحتفظ بالكامل وتسمى التربة في هذه الحالة بالتربة غير الناضجة، اذ يمكن ان تعمل عوامل النقل في ازالة جزئية او كلية لبعض طبقات قطاع التربة.

وتصنف الترب حسب معايير مختلفة. فهي تصنف حسب نشأتها الى تربة متبقية توجد فوق الصخر الام الذي نشأت منه ،وترب منقولة توجد فوق صخر آخر غير الذي نشأت منه ، كما انها تصنف حسب تركيبها الحبي الى ترب حصوية، رملية ، غضارية وطينية.اما حسب موقعها الجغرافي والمناخي فتصنف الى ترب المناطق التوندرية والقطبية وترب مناطق الغابات وترب السهوب وترب الصحاري وترب المناطق المدارية.

وكذلك تسمى الترب احيانا حسب لونها وتركيبها الكيميائـــي، فهناك التربة السوداء والتربة الحمراء والتربة المالحة والقلوية والحمضية والكربوناتية.

وأخيرا لا بد من الاشارة الى أن تجدد الترب بعد تعريتهـــا عملية بطيئة للغاية، اذا اعتبرنا عمر الانسان مقياسا لذلك، لهـــذا تعتبر التربة عمليا موردا غير قابل للتجدد او على الاقل مــــورد قابل للتجدد جزئيا، بمعنى أنها قابلة للتجدد ببطء كبير .

وهكذا فان التجوية هي احدى العمليات الجيولوجية الخارجيـــة الهامة التي تؤدي الى تشكل مواد حطامية ومواد منحلة، ستعطــــي فيما بعد وبفعل عمليات الدياجينيز الصخور الرسوبية. كذلك تعطي عمليات التجوية سطح الارض اشكالا تضاريسية مختلفة وتشكل قشــــرة التجوية التي لها أهمية اقتصادية وتطبيقية كبيرة كما انهـــــا تساهم في تشكل الترب بشكل كبير . لذلك تستحوذ دراسة هذه العملية على اهتمام علماء الجيولوجيا والهيدروجيولوجيا والجيومورفولوجيا وعلماء التربة ومهندسوا المناجم وغيرهم .

١ـ ٢ـ الفعل الجيولوجي للرياح

يعتبر فعل الرياح من أهم أوجه النشاط الجيولوجي للغلاف الجوي ويكون هذا الفعل واضحا في المناطق الصحراوية وشبهالصحراوية اذ أن قلة الامطار وانعدام الغطاء النباتي تساعد الرياح بشكل كبير على نقل الرسوبات وهذا النقل يوءدي بدوره الى عمليات حت وترسيب مميزة لهذه المناطق .

كذلك فان الرياح هي السبب في اختلاف الظروف المناخية في الاماكن المختلفة من الارض وهي العامل الاول في توزيع بخار الماء فوق مناطق الكرة الارضية المختلفة ، وبالتالي فهي ايضا تسبب في تزويد الانهار والجليديات بالماء وفي النشاط الجيولوجي للامواج البحرية وذلك عن طريق انتقال الطاقة منها الى سطح الماء في المحيط، لهذا سنتطرق في البداية الى آلية تشكل الرياح قبل الدخول في تفاصيل فعلها الجيولوجي .

١-٢-١- آلية تشكل الرياح :

ان الطاقة الاشعاعية هي المصدر الرئيسي للطاقة الحركية ، اذ ينجم عن اختلاف كمية الاشعة الواصلة الى وحدة المساحة من سطح الارض تباينا في درجة الحرارة ،وبالتالي فان الجزء الاكثر تلقى للاشعاع يكون اكثر حرارة . ان الفروق في درجات الحرارة توءدي الى تباينات في كثافة الهواء وقيمة الضغط الجوي ،وتحت تأثير فروق الضغط الجوي يندفع الهواء من الاماكن الاكثر ضغطا الى الاماكن الاقل ضغطا ،وكلما ازداد فارق التسخين وتباينت كثافة الهواء

وضغطه اندفعت الرياح بسرعة أشد، بمعنى آخر لو لم يكن هناك ضغط مرتفع وآخر منخفض لما كان هناك هواء متحرك افقيا اصلا .

ويعرف الضغط الجوي بأنه القوة التي يسببها وزن الغلاف الجوي اي كتلته على سطح الارض الواقع دونه . او هو عبارة عن القوة التي يسببها وزن عمود من الهواء مساحة قاعدته سنتمتر مربع واحد ممتد من سطح البحر وحتى سقف الغلاف الجوي . وتتناسب هذه القوة طردا مع وزن عمود الهواء هذا ومع الجاذبية الارضية ،وتبلغ قيمة ضغط الهواء القياسية عند مستوي سطح البحر ١٠١٣٫٢ مليبار وهو ما يكافىء ارتفاع عمود الزئبق ، بمقدار ٧٦ سم . وبما ان كثافة الهواء تزداد مع انخفاض درجة الحرارة وتختلف بالتالي قيمة الضغط عند مستوي سطح البحر من منطقة لاخرى ،فهي اما ان تكون اكثر من ١٠١٣٫٢ مليبار ويكون عندها مرتفعا او اقل من هذه القيمة ويكون عندها منخفضا. وكلما كان فارق الضغط كبيرا بين مراكز الضغوط المنخفضة ومراكز الضغوط المرتفعة كلما كانت الرياح اشد سرعة. وتسمى الرحلة التي يقطعها الهواء المتحرك من مراكز الضغوط المرتفعة باتجاه مراكز الضغوط المنخفضة والحركات الصاعدة والهابطة بدورة الهواء .

والرياح هو الاسم الذي يطلق على الحركات الافقية للهواء، وتختلف تلك الرياح اتجاها وسرعة من مكان لآخر من سطح الارض . فمن الرياح ما يتصف بديمومة واضحة ،ومنها ما يهب في فصول معينة من السنة، كما نجد من الرياح ما يهب في ساعات معينة من اليوم . ومن التأثيرات الاضافية الاخرى على تشكل الرياح وتوزع الكتل الهوائية هو توزع القارات والمحيطات ،وحجم وشكل الارض ،والتضاريس ... الخ.

ونتيجة الحركة الدائمة للكتل الهوائية الجوية يتم تبـــادل الرطوبة بين القارات والمحيطات وبين المناطق الاستوائية والقطبيـــة مما يؤدي الى نشوء تيارات بحرية وأمواج ، وحسب سرعة الريـــاح التي تحدد قوة تأثير هذه الرياح على المواد يمكن تمييز الانـــواع التالية :

- رياح هادئة حتى ٥ر٠م/ثا٠
- رياح معتدلة ٥ر٠ـ٦ م/ثا٠
- رياح قوية ٦ـ٢٠ م/ثا٠
- رياح بشكل عواصف ٢٠ـ٤٠ م/ثا٠
- عواصف هوجاء اكثر من ٤٠ م/ثا٠

عدا ذلك تلاحظ تيارات هوائية تتحرك بحركة دورانية حـــول مراكز الضغط المرتفع والمنخفض ،وهي تشكل ما يسمى بالزوابـــع والعواصف الترابية٠ وتبلغ سرعة دوران الهواء في العاصفة حوالـــي ٣٠ـ٤٠ م/ثا اما سرعة انتقاله فتبلغ ١٠ـ٢٠ م/ثا وبالتالي تنقـــل العاصفة المياه والاتربة والمواد الاخرى التي تصادفها في طريقهـــا على ارتفاعات كبيرة ولمسافات بعيدة٠

ان المسار اليومي للرياح بالقرب من سطح الارض يكون متوافقا مع المسار اليومي لدرجة الحرارة ويمكن ان يفسر ذلك بأنه عندمـــا تزداد درجة حرارة السطح ارتفاعا يزداد اضطراب الهواء ويقـــل استقراره ، مما ينجم عن ذلك اندفاع الهواء المتسخن والمتمدد نحو الأعلى ليحل محله هواء اقل حرارة من الأجزاء العلوية من [illegible] حاملا معه قوة دفع كبيرة مما يجعل الرياح السطحية اكثر نشاطـــا عندما تكون درجة الحرارة اكثر ارتفاعا٠

١-٢-٢- الفعل الجيولوجي للرياح :

يشمل النشاط الجيولوجي للرياح مختلف اجزاء اليابسة الا أنه يكون أكثر تأثيرا في المناطق ذات المناخ الجاف والحار. فالرياح تستطيع في هذه المناطق رفع ونقل الاتربة الى مسافات بعيدة بحرية وسهولة. وبشكل عام يتضمن الفعل الجيولوجي للرياح عمليات تحطيم الصخور وتفتيتها (تذرية وحت) ،ونقل نواتج التحطيم وأخيرا توضع هذه النواتج .

١-٢-٢-١- التذرية الريحية :

وتنشأ بشكل رئيسي نتيجة تأثير القوى الميكانيكية للرياح وخاصة في الصخور الضعيفة وغير المتماسكة حيث تعمل الرياح على فصل الحبيبات الصخرية ونقلها، وتعريض سطح الارض لاعمال التجوية والحت المختلفة. وتكون التذرية نشيطة بشكل فعال في المناطق التي ينعدم فيها الغطاء النباتي او يندر وكذلك في المناطق الجرداء. كما تشتد فعالية التذرية مع زيادة سرعة حركة الرياح في هذه المناطق وتعتبر الزوابع (الدوارات الهوائية) من اكثر أنواع الرياح قوة اذ تبلغ سرعتها الحقيقية ١٠-٢٠م/ثا. وهذه الدوارات الهوائية يمكنها ان تقتلع الحصى وتنقلها لمسافات بعيدة اضافة الى الغبار والاتربة والرمال وغيرها. وتصنف هذه الدوارات الهوائية او العواصف وفقا لنوعية المواد التي تحملها ولون هذه المواد الى الانواع التالية حسب العالم الروسي فاليفكين : العواصف السوداء التي تحمل مواد ارضية سوداء حيث يفقد الهواء في المنطقة المحيطة بالعاصفة شفافيته ويحل الظلام

وتستمر هذه الحالة اسابيع وأحيانا شهور وهذه العواصف تنتشر بشكل كبير في غرب اوروبا والولايات المتحدة، العواصف الحمراء وتميز المناطق الصحراوية وفيها تحمل الرياح بالاضافة الى الغبار الرمال ايضا وهي تنتشر في الصحراء الافريقية واستراليا، العواصف البيضاء وهي نادرة الحدوث وتميز المناطق التي تنتشر فيها الاملاح والجبس وتنتشر في المناطق الشاطئية لبحر قزوين .

ونتيجة عملية التذرية تتشكل تجاويف وأخاديد في السبخات والصخور الرملية ذات الملاط الكلسي وغيرها. يمكن ان تكون مقاييسها كبيرة شكل (١-٤).

الشكل (١-٤)

يظهر تشكل الكهوف الريحية في منطقة شمال القفقاس

فمثلا يبلغ طول احد التجاويف المتشكلة في كازخستان بفعل التذرية ١٤٥ كم ،اما عرضه فيبلغ ٢-١٠ كم وعمقه ١٠٠-١٤٢م .

وحسب المنطقة التي تشملها عملية التذرية يميز عادة بين تذرية سطحية تشمل مساحة واسعة من سطح الارض وتذرية خطية تتم في مناطق ضيقة كالوديان التي يسود فيها اتجاه واحد للرياح . ويربطة

الكثير من العلماء تشكل الوديان في المناطق الصحراوية ، بهــــذا النوع من التذرية . وتختلف هذه الاودية التي تتشكل بفعل التذريـــة من الاودية ذات المنشأ النهري بأنها غير منتظمة الميل وانها تتسع احيانا وتضيق احيانا اخرى حسب قساوة الصخور كما ان قاعهـــا ملىء بالكتل الصخرية وذلك عكس الاودية النهرية التي تكون عــادة منتظمة الميل وعرضها واحد تقريبا وقاعها خال من الكتل الصخرية .

١-٢-٢-٢- الحت الريحي :

تتم عملية الحت الريحي بفعل المواد التي تحملها الريـــاح وخاصة الرمال التي تعمل على حت وصقل السطوح الخارجية للصخور . ويترافق الحت الريحي عادة مع التذرية الريحية . فتأثير الريـــاح على الصخور يتم اما بفعل قوة الرياح الميكانيكية الذاتيـــة او بفعل قوة المواد المحمولة بواسطتها ، وفي كلتا الحالتين فـــان الرياح عندما تصطدم بالصخور تفتتها ميكانيكيا . ان اهم المـــواد المحمولة بواسطة الرياح هي الغبار والرمال وحتى البحص أحيانـــا ويتعلق ذلك بقوة الرياح وسرعتها ،واكثر هذه المواد تأثيرا بالصخور هي الرمال كما ذكرنا أعلاه . فالرمال لا تحطم الصخور الضعيفة فقط، وانما القاسية ايضا حيث تحطمها الى قطع صغيرة مختلفة القيـــاس .

وبشكل عام تتوقف شدة العمل الحتي على مجموعة من العوامـــل من أهمها ظروف توضع الصخور وخواصها الفيزيائية والميكانيكية وسرعة الرياح وما تحمله من مواد مفتتة .

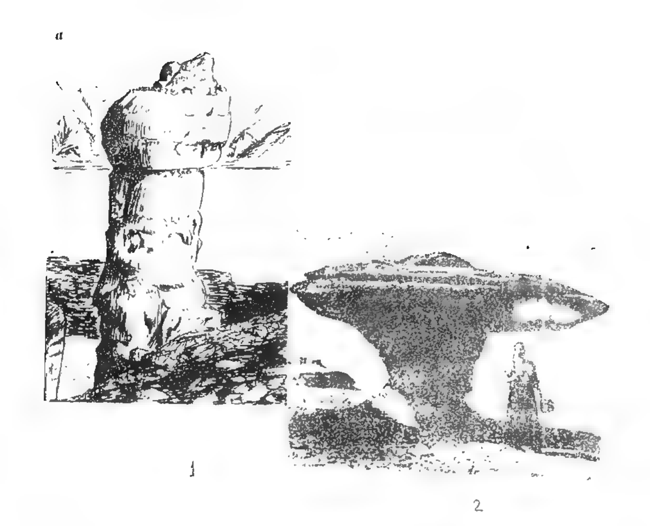
تكون عملية الحت اعظمية في المنطقة القريبة من سطـــح الارض وذلك لان كثافة الحبيبات الصخرية والرمال التي تنقلها الريـــاح

كبيرة في هذه المنطقة وهي كما رأينا من العناصر الاساسية فـــي عملية الحت الريحي وهذا يظهر بشكل واضح في الجبال الجـــــرداء والصحاري،فالرمال المحمولة بواسطة الرياح على ارتفاع ٢-٣ متـــر تضرب الصخور فتفتتها وتشكل مختلف انواع التجاويف والكهـــوف والخدوش وتتوضح الشقوق الضيقة او غير المرئية اصلا ... الخ وحسب ظروف توضع الصخور وخواصها الفيزيائية والميكانيكية تتشكل مختلف اشكال الحت الريحي فعندما يكون توضع الطبقات الصخرية المختلفـة القساوة افقيا تتشكل الموائد والاعمدة الصخرية أمّا في حالــــة التوضع المائل فتتشكل الاعراف والمسلات الريحية التي تكون عـــادة جميعها متوازية فيما بينها وتفصل بينها اخاديد عميقةشكل (١-٥).

ويكون الفعل الجيولوجي الحتي للرياح اعظميا في المناطـــق الصحراوية التي يسميها العالم الروسي اوبروتشيف باسم ممالـــك الرياح وذلك بسبب التنوع الهائل بأشكال الحت الريحي في هـــذه المناطق ،اذ تبدو المنطقة عن بعد وكأنها خرائب لمدة حقيقيـــة مؤلفة من بقايا جدران وابراج واعمدة واقواس . ولكن عندالاقتراب منها يتوضح جوهرها بشكل جلي اذ ما هي الا اشكال ايجابية وسلبيـــة للحت الريحي .

١-٢-٢-٢- النقل الريحي :

عندما تهب الرياح في المناطق الصحراوية وشبه الصحراويـــة والمناطق الجرداء على ضفاف الانهار والبحار والبحيرات التـــي ينعدم فيها الغطاء النباتي ،فانها تنقل معها المواد الصخريـــة بما يتوافق وسرعة وقوة هذه الرياح ، فالرياح المعتدلة والتـــي



شكل(١-٥) يوضح بعض اشكـــال الحت الريحـــي

١- عمود ريحي .
٢- موائد صخرية .
٣- اعراف ومسلات ريحية تفصل بينها أخاديد عميقة .

سرعتها تبلغ ٦ م/ثا تنقل الرمال التي أقطارها تبلغ ٢٥ر٠ مم اما الرياح التي تبلغ سرعتها ٢٠م/ثا والتي تسمى بالرياح الشديدة فتحمل رمالا ومواد يصل قطرها الى ٥ مم ،وفي حين تستطيع العواصف الريحية (الزابع) التي سرعتها اعلى من ٣٠م/ثا ان ترفع احجارا بأقطار ٣-٤ سم واحيانا تصل الى ٨ سم . ان الذرات والشظايا الصخرية المنقولة بواسطة الرياح ، اما ان تتدحرج على سطح الارض او ان تختلط بالمواد العالقة . فالرمال والشظايا الصخرية عند اختلاطها تسحق بعضها البعض وخاصة عندما تكون الرياح شديدة ، اذ تسمع أصوات تشبه الصفير ناتجة عن احتكاك حبات الرمل مع بعضها وبالتالي تصقل هذه الرمال فكل الشظايا ذات الزوايا الحادة تسوى أو تصبح ملساء .

ان الرياح هي من اهم عوامل نقل الاملاح فحسب دراسات العالم بيسكوفسكي ١٩٨٢ نقلت العواصف والزوابع الريحية خلال عام واحد ٢٧ مليار طن من الاملاح من سطوح المحيطات منها ١٥ مليار طن من الكلور . تحمل الرياح الذرات الترابية والرمال وهي بحالة معلقة الى مسافات بعيدة ، فغبار افريقيا ينقل بواسطة رياح السموم (الزوابع الصحراوية) الى مسافات تبلغ ٢٥٠٠ كم وتتوضع فوق المحيط الاطلسي واحيانا تبلغ سهول روسيا والمانيا وبولونيا والدانمارك حيث تتساقط هناك عادة مع الامطار والثلوج . ففي عام ١٩٠٣ سقط على اراضي اوروبا الغربية حوالي ٧٠٠ الف طن من الغبار والاتربة القادمة من أفريقيا . ترفع الرياح جزيئات الغبار والاتربة الى ارتفاعات مختلفة حسب مقاييس هذه الجزيئات . فعندما تكون أقطار هذه الجزيئات ٢-٤ سم تنقل الى ارتفاع ٢-٣ متر ، اما الجزيئات

الرملية الكبيرة فترتفع الى ارتفاع ٨-١٠ متر والرمال الاصغر حجما ترتفع الى عشرات الامتار ، اما الذرات الناعمة فترتفع حوالي ١٠٠٠ متر أو أكثر. فكلما كانت مقاييس جزيئات الصخور قليلة كلما، ارتفعت هذه الجزيئات بواسطة الرياح اكثر وانتقلت الى مسافات بعيدة من أماكن تشكلها.

١-٢-٢-٤- الترسيب الريحي :

تتساقط المواد الحطامية التي تحملها الرياح على سطح الارض وذلك عندما تخف سرعة هذه الرياح مشكلة بذلك توضعات ريحية تسمى بالتوضعات الالوفية ونميز ضمن التوضعات الريحية التوضعات الرملية وتوضعات الذرات الترابية والغبارية الناعمة (اللوس) .

آ- التوضعات الرملية :

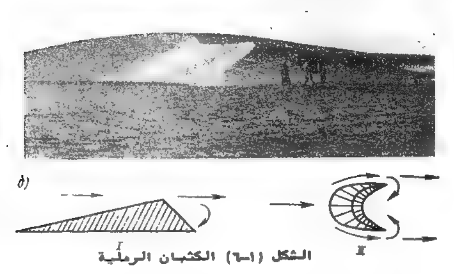
تتصف التوضعات الرملية الريحية المنشأ حسب دراسات مختلف الباحثين بالصفات التالية :

- الوانها قاتمة غالبا صفراء او رمادية ونادرا ما تكون حمراء .
- تتوضع بشكل طبقات مائلة يدل انحدارها على اتجاه الريح.
- تتألف بشكل رئيسي من الفلزات الثابتة كالكوارتز اما المواد غير الثابتة كالميكا والكلوريت فتغيب تقريبا فيها وحوالي ٨٠-٩٩ ٪ منها تتجاوز اقطارها ٢٥ر٠ مم، وهذا يدل على فرزها الجيد بالمقارنة مع الرمال الشاطئية.

وتميز عدة انواع من التوضعات الرملية الريحية المنشأ من اهمها:

١- الكثبان الرملية: وهي تجمعات رملية ذات أحجام مختلفة

وتكون ذات قمم حادة ميلها خفيف في اتجاه الريح من ٨-١٤° وشديد في الطرف المعاكس حيث يصل الى ٣٠-٣٥° (شكل ١-٦).



الشكل (١-٦) الكثبان الرملية

a- منظر عام

b- I - في المقطع II، في المستوي ،السهم يشير الى اتجاه الرياح .

تتشكل الكثبان الرملية نتيجة اصطدام الرياح المحملة بالرمال بحاجز ما كشجرة او كتلة صخرية أو أي حاجز آخر،حيث تخف سرعة الرياح وبالتالي تلقي بحمولتها خلف هذا الحاجز ونتيجة لاستمرار هبوب الرياح تتشكل خلف هذا الحاجز تجمعات رملية اولية لا تلبث ان تكبر ويزداد ارتفاعها حتى تصبح كثبانا رملية كبيرة يصل ارتفاعها الى ٥-٣٠ متر، وقد تصادف احيانا كثبانا رملية عملاقة يصل ارتفاعها الى حوالي ٢٠٠ متر كما هو الحال في تونس .

تتكون الكثبان الرملية في المناطق الصحراوية وتسمى بالكثبان القارية وعلى طول شواطئ الانهار والبحار حيث تتشكل

بفعل نقل وترسيب الرياح للمواد الرملية التي شكلتهامياه البحار والانهار سابقا بالقرب من المنطقة الشاطئية وتسمى بالكثبان الشاطئية. وتختلف الكثبان الشاطئية عن الكثبان القارية بأن رمالها ناتجة عن الحت البحري بينما رمال الكثبان القارية ناتجة عن الحت الريحي . تتم حركة الكثبان الرملية بفعل الرياح من مكان لاخر ببطء وهي تتأرجح بين عدة سنتيمترات وحتى ١٢ متر في العام الواحد وتبلغ احيانا ١٠٠-٢٠٠ متر في السنة للكثبان الصغيرة. وتتم الحركة في الاتجاه العام للرياح،وذلك انه عندما يزداد ارتفاع الكثيب الرملي تنزلق الحبات الرملية المتوضعة على سطحه الى الجهة المعاكسة للريح،وبذلك ينتقل هذا الكثيب من موضعه ببطء وبنفس اتجاه الرياح تاركا المجال لكثيب جديد كي يحل محله.وتتشكل نتيجة ذلك خلال فترات زمنية طويلة اعداد كبيرة من الكثبان الرملية المتتالية،اما اذا كانت الرياح تهب في اتجاهات مختلفة فان الكثبان الرملية لا تنتقل من مكانها وانما يتغير شكلها فقط .

٢- الاكداس الراملية : وتنتشر بشكل اساسي في المناطق التي تكون فيها كمية الرمال قليلة،وهي عبارة عن هضاب او اكوام رملية معزولة لا يتجاوز ارتفاعها ١٠ متر وسفوحها قليلة الانحدار وتنتشر هذه الاكوام الرملية بشكل غير منتظم ،ويمكن ان تتصل فيما بينها لتشكل هضابا واسعة من الرمال ،وتشكل هذه الاكداس الرملية في اكثر الاحيان نوى لكثبان رملية كبيرة تتشكل فيما بعد .

ب - التجمعات الريحية الترابيةوالغضارية الناعمة:

تنقل الرياح الاتربة والمواد الغضارية الناعمة الى مسافات أبعد من تلك التي تبلغها التوضعات الرملية وذلك بسبب حجومها الصغيرة بالمقارنة مع الرمال ، وعندما تبلغ المسافة التي تضعف

فيها شدة الرياح تتوضع هذه الجزيئات او الذرات من الرياح مشكلـــة توضعات ذات صفات مميزة .

ان التوضع البطيء للذرات الغضارية والمتراصة [illegible]

يشكل توضعات خاصة تتصف بالصفات التالية :

- ذات مسامية عالية.
- نسبة الذرات الترابية فيها كبيرة بالمقارنة مع الــــذرات الغضارية.
- تحتوي على نسبة كبيرة من الاملاح وخاصة الكربونات والسولفات .
- سهلة الانجراف والتشبع بالماء.
- تتوضع بشكل سماكات كبيرة او اغطية لا يظهر فيها أي آثـــــار للتطبق .

يشكل حجم الفراغات في هذه التوضعات ٥٠ ٪ من حجمها الاجمالي وبالتالي تتصف بأنها شديدة المسامية ومنفذة جدا للمياه.

تتألف هذه التوضعات بشكل عام من ٦٠–٨٠ ٪ من الذرات الترابية و ١٠–٢٠ ٪ من المواد الغضارية، اما الذرات الرملية التي تصادف فـي هذه التوضعات فهي قليلة وناعمة ولا تتجاوز اقطارها ٥٠ر٠–٢٥ر ـــم يتأرجح سماكة هذه التوضعات بين ١ و ٢ متر ويمكن ان تبلغ فـــي بعض الحالات النادرة ١٠٠ متر .

يحتوي الغلاف الجوي، كما هو معروف في الطبقات السفلى منـــه على كمية كبيرة من بخار الماء وعلى بعض الاكاسيد الغازية مثل

وغيرها. وعند حركة الذرات المعدنية الدقيقة خلال الغلاف الجـوي تتكاثف ابخرة المياه والاكاسيد الغازية على سطوح هذه الذرات لتشكل

الاحواض . وعندما تتجمع الذرات تدخل الاحواض الموجودة على سطوحها بتفاعلات مع الحموض العضوية المتحررة عن النباتات الميته . وفي النتيجة يتغطى السطح الداخلي للفراغات بغشاء ملحي رقيق يتألف عادة من الكربونات والسلفات والكلوريدات .

ويكون هذا النوع من التوضعات الريحية ذا ثبات لا بأس به ، الا أنه عند الرطوبة وخاصة تحت تأثير حمولة ما تفقد هذه التوضعات ثباتها فتتمزق بنيتها وتنقص ماكتها بحدود ١٠ ٪ . وتنتسب هذه التوضعات حسب خواصها الواردة اعلاه الى احدى مجموعات الصخور الرسوبية المسماة باللوس والتي يمكن لها ان تتشكل ليس من طريق تجمع التوضعات الريحية فحسب وانما بطرائق اخرى معروفة.

١-٢-٣- النتائج الجيولوجية لفعل الرياح :

تظهر النتائج الجيولوجية للرياح بشكل واضح في المناطق الصحراوية وذات المناخ الجاف . فالرياح تنقل كميات ضخمة من الشظايا والمواد الحطامية من منطقة لأخرى ، حيث تشكل في نهاية المطاف نوعية جديدة من الصخور الرسوبية مثل اللوس ،كما تتشكل نتيجة عمليتي الحت والترسيب الريحيتين أشكال تضاريسية جديدة ، كذلك تتشكل في المناطق التي تنتشر فيها توضعات اللوس تربة زراعية خصبة ، وايضا تستخدم الرمال الريحية كمواد بناء وفي صناعة القرميد السيليكاتي . كما ان الكثبان الرملية التي تتشكل بواسطة الرياح تملك اهمية اقتصادية . ففي بعض المناطق الصحراوية وغيرها تشكل الكثبان مستودعات لخزن مياه الامطار على هيئة مياه جوفية مشكلة

بذلك خزانات نموذجية للمياه الجوفية وخصوصا اذا كانت تحتهـــــا طبقة كتيمة وإرتفاعها كبير. الا ان الرياح قد تسبب في كثير مـــن الاحيان اضرارا كثيرة. فعمليتي الحت والتذرية تخربان طبقة التربـة الزراعية التي هي مورد لا يمكن تعويضه ، كما تؤدي الرياح الى طمر الطرقات والسكك الحديدية بالرمال ، وفي بعض الاحيان يمكن ان تغمـر الرمال أعمدة الهاتف والكهرباء.

ويمكن تفادي الاضرار الناتجة عن الفعل الجيولوجي للريـــــاح باجراء التدابير الوقائية التالية :

١- بناء حواجز انشائية كمصدات في وجه الرياح تضعف سرعة هـــذه الرياح وتغير اتجاهها وهذه الطريقة ليست دائما فعالـــــة وخصوصا في المناطق التي تغير فيها الرياح اتجاهها بشكــــل دائم .

٢- تثبيت الرمال باضافة محاليل ومستحلبات خاصة اليها وهـــذه الطريقة تمتاز بأنها باهظةالتكاليف وصعبة التنفيذ .

٣- زراعة الأشجار وتنمية غطاء نباتي يعزز من تماسك التربـــة وشبائكها لتكون أكثر مقاومة في وجه العمل التخريبي للرياح.

١-٣- الفعل الجيولوجي للمياه الجوفية

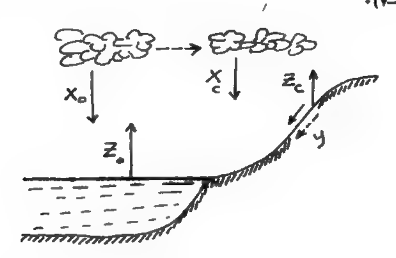
تعتبر المياه من أكثر المواد انتشارا في الطبيعة وهي تتواجد بالحالات السائلة والغازية والصلبة وفي مختلف الأغلفة الاساسية للأرض ٠

ففي الغلاف الغازي تتواجد المياه بشكل بخار في القسم السفلي منه والمسمى بطبقة التروبوسفير وفي هذه الطبقة تتم حادثة التكاثف لهذا البخار وتحدث فيه حادثة تشكل الغيوم والمطر والثلج والبرده وتتواجد المياه على سطح الارض في المحيطات والبحار والبحيرات والانهار.. الخ ، وتشمل ٩٥ ٪ من كافة مصادر المياه في الكرة الارضية وهي توجد بحالتين سائلة وصلبة ٠ اما المياه الموجودة في الغلاف الصخري(الليثوسفير) فتسمى مياه ما تحت سطح الارض او المياه الجوفية، وهي تنتشر على أعماق تتراوح بين عدة سنتيمترات وحتى مئات الامتار،وهي توجد بأشكال مختلفة وفي تشكيلات جيولوجية متنوعة ويسمى العلم الذي يدرس منشأ هذه المياه وشروط تجمعها وتوزعها وخواصها الفيزيائية والكيميائية وحركتها ونشاطها وطرائق استثمارها وادارتها... الخ بعلم الهيدروجيولوجيا ٠

١-٣-١- الدورة المائية في الطبيعة:

يتم بين اليابسة والغلاف الجوي والمحيطات تبادل مائي بشكل متواصل ٠ فعندما تسقط مياه الامطار يسيل قسم منها من اليابسة الى المحيطات ويسمى بالجريان المائي الذي ينقسم الى قسمين رئيسيين:

جريان سطحي يشكل حوالي ٧٠ ٪ من حجم الجريان العام ،ينساب على سطح الارض ويشكل المياه الجارية السطحية وجريان جوفي يسهم في تشكيل المياه الجوفية. وقسم آخر من مياه الامطار يعود ثانية الى الجو على شكل بخار ليشكل الامطار من جديد وهكذا باستمرار . ويطلق على هذه العملية اسم الدورة المائية في الطبيعة وهي موضحة بالشكل (١-٧).



الشكل(١-٧) الدورة المائية في الطبيعة

ان العصر الجيولوجي الذي نعيش فيه حاليا ،والذي يبدأ اعتبارا من نهاية الفترة الجليدية الاخيرة يسمى الهليوسين، وهو يبدأ منذ حوالي ١٠ آلاف سنة . ومنذ منتصف هذا العصر لم يتغير مناخ الكرة الارضية في اتجاه محدد بشكل عام على الرغم من بعض التقلبات الطفيفة في بضع مئات من السنين . وخلال كل هذه الفترة بقي مستوى الماء في المحيطات بدون تغيير تقريبا. لهذا يحسب التوازن المائي باعتبار أن الكمية الكلية للمياه المشاركة في الدورة الهيدروجيولوجية تبقى ثابتة .

وتأخذ معادلة التوازن المائي لسطح المحيطات الشكل التالي :

حيث ان : (١-١) $X_0 - Z_0 + y = 0$

X_0 - الهاطل السنوي على سطح البحار والمحيطات .

Z_0 - البخر السنوي من سطوح البحار والمحيطات .

y - الجريان السنوي من سطح اليابسة .

اما لسطح اليابسة فتأخذ المعادلة الشكل التالي :

(٢-١) $X_C - Z_C - y = 0$

مخطط الدورة المائية موضح على الشكل (١-٧) وفي الجدول (١-١)

المكان	المساحة مليون كم ٢	الحجم ألف كم ٣		
		الساقط المطري X	البخر Z	الجريان y
المحيط	361	+458	-505	+47
اليابسة	149	+119	-72	-47
الكرة الارضية	510	+577	-577	-

جدول (١-١) المتوسط السنوي لعناصر الدورة المائية في الطبيعة

١-٣-٢- أشكال تواجد المياه في الصخور :

تتواجد المياه في فراغات الصخور والتربة بأطوارها الثلاثة . بخار ،سائل ،صلب ، كما ان هذه الاطوار تتواجد بالأشكال التالية :

١-٣-١-١- مياه بشكل بخار :

يملأ بخار الماء مع الهواء فراغات ومسامات الصخور والتربـة [illegible] باتقاء نتيجة انتقال بخار الماء من الجو الى التربة ، أو نتيجة لتبخر المياه الموجودة في تربة وصخور منطقة التهويـة ، ويمكن ان تتكاثف أبخرة المياه الموجودة في التربة متحولة الـى مياه سائلة تستفيد منها النباتات .

١-٣-١-٢- مياه مرتبطة فيزياويا:

وهي المياه التي ترتبط بسطوح حبيبات الصخور بقوى اكبر بكثير من قوى الجاذبية الارضية وهنا نميز نوعين :

آ- مياه ذات ارتباط فيزياوي قوي وهي تشكل غشاء رقيق جـدا يغلف حبيبات الصخر ويرتبط به بشدة بواسطة القوى الجزيئية . ويتشكل هذا الغشاء نتيجة امتصاص جزيئات الماء من البخـار الموجود في الهواء او من المياه السائلة . ويمكن نزع هـذه المياه من الصخور بعد تسخينها الى ١٠٠-١٢٠ درجة مئوية ولا ترى هذه المياه بالعين المجردة ولا تستفيد منها النباتـات لعدم قدرتها على انتزاعها من حبيبات الصخور والتربة وتسمى هذه المياه احيانا بالمياه الهيغروسكوبية .

ب- مياه ذات ارتباط فيزياوي ضعيف :

وتنتشر على سطوح جسيمات الصخور فوق المياه ذات الارتبـاط الفيزياوي القوي وترتبط مع جسيمات الصخور بواسطة القـوى الجزيئية ايضا ، الا ان تأثير هذه القوى يتناقص بسرعة مـع ازدياد سماكة غشاء المياه المتشكل على سطوح جسيمات الصخور .

وبالتالي يمكن للنباتات ان تستفيد من هذا النوع من المياه بسبب امكانية نزعها وتسمى هذه المياه بالمياه الغشائية.

١-٣-٢-٣- مياه ثقالية:

عندما تزداد سماكة الغشاء المائي حول جسيمات الصخر الى الدرجة التي يصبح فيها تأثير قوى الجاذبية واضحا على الاجزاء الخارجية من الغشاء تتحول المياه الغشائية الى مياه ثقالية تتحرك تحت تأثير قوى الثقالة الارضية نحو الاسفل لتغذي بذلك المياه الجوفية، وتخرب الصخور أثناء حركتها تخريبا ميكانيكيا يتجلى في نقل وتوضع حبيبات الصخر، او أنها تنقل الحبيبات من فراغات وشقوق الصخر كما تبدي نشاطا في حل وترسيب المواد الصخرية. وهذا كله يتوقف على نفوذية الصخور والتركيب الكيميائي والغازي لهذه المياه، اذ أنه في شروط معينة يمكن أن تترسب الأملاح من محاليلها مسببة انغلاق شقوق ومسامات الصخور. وسندرس هذا النوع من المياه بالتفصيل لاحقا.

١-٣-٢-٤- مياه شعرية :

تتشكل هذه المياه في شبكات الشقوق والمسامات الدقيقة الموجودة في الصخور التي تشبه الانابيب الشعرية لذلك تسمى هذه المياه بالمياه الشعرية وهي تعتبر حالة خاصة من المياه الثقالية. فأثناء حركة المياه الثقالية نحو الاسفل تحت قوى الجاذبية يتحرك جزء منها نحو الاعلى بفعل الخاصة الشعرية وتصل هذه المياه الى الحد الذي تتساوى فيه قوى الشد السطحي(قوى التأثير المتبادل بين السائل والجسم الصلب) والثقالة الارضية

ويقسم العالم الروسي ليبديف هذه المياه الى نوعين حسب مصدرهـــا ودرجة ارتباطها بالمياه الجوفية الحرة هما:

أ- ميـــاه شعرية معلقة : لا ترتبط بسطح المياه الجوفية وتتشكل في فراغات صخور الجزء الاعلى من منطقة التهوية نتيجة لتسرب مياه الامطار وذلك عندما تصل الصخور الى حالة الاشباع بالمياه المرتبطة فيزياويا، اي الحالة التي تكون فيها سماكة المياه الغشائية أقصية. ويمكن ان تختفي المياه الشعرية المعلقة عندما تتوفر ظروف ملائمة للتبخر ولفترة كافية، كما يمكـــن للنباتات أن تستفيد منها.

ب- مياه شعرية مرتفعة فوق سطح المياه الجوفية: وتنشأ هـــذه المياه نتيجة لارتفاع جزء من المياه الجوفية تحت تأثيـــر القوى الشعرية في الفراغات والشقوق الشعرية للصخور وتتعلق قيمة هذا الارتفاع بالخواص الليتولوجية للصخور.

تساهم المياه الشعرية في ري النباتات غير انها تسبب اضرارا كبيرة احيانا، فتسبب تملح الاراضي عندما تتوفر الظـــروف الملائمة بالاضافة لذلك تساهم في ارتفاع التربة تحت أساسات الانشاءات الهندسية مما يسبب انزلاق هذه الانشاءات وانهيارها كليا أو جزئيا كالاوتوسترادات والسكك الحديدية وغيرها.

1-2-1-ج- مياه مرتبطة كيمياويا :

تتواجد هذه المياه في الشبكة البلورية للفلزات حيث تدخل في تكوين الفلز بشكل ايونات أوَ جزيئات ما (H^+ , OH^- , H_2O ...الخ) مشاركة بذلك في تركيبه مثل المسكوفيت $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$ ، الجبس

$CaSO_4 \cdot 2H_2O$ وغير ذلك من الفلزات ويمكن نزع هذا النوع من المياه من الشبكة البلورية للفلزات بتسخينها الى درجة حرارة ٣٠٠-١٥٠٠ درجة مئوية.

١-٢-٢-٦- مياه في الطور الصلب :

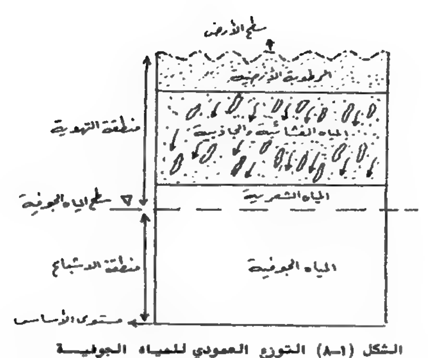
وتلاحظ في مناطق التجمد السرمدي (الدائم) وفي المناطق التي تتجمد في فصل الشتاء حيث تلاحظ بلورات أو عروق او عدسات او طبقات رقيقة من الجليد في الصخور ناتجة من تجمد قسم من المياه الغشائية.

١-٢-٣- التوزع العمودي للمياه الجوفية :

ان فهم كيفية تشكل المياه الجوفية يقتضي دراسة توزع هذه المياه ضمن فراغات الصخور تحت سطح التربة. وتطلق كلمة صخر على أيّة طبقة من طبقات الارض بصرف النظر عن كونها مادة صلبة متماسكة أوّ هشة متفتته . فالغرانيت صخر وكذلك الرمل والطين من الصخور. يتوزع الوجود التحت سطحي للمياه الجوفية ضمن منطقتين اساسيتين: منطقة التهوية ومنطقة الاشباع شكل (١-٨).

١-٢-٣-١- منطقة التهوية :

تمتد منطقة التهوية من سطح الارض وحتى سطح المياه الجوفية واذا كان اول مستوي اعتبارا من سطح الارض هو مستوي كتيم لعندئذ منطقة التهوية هي المنطقة الممتدة بين سطح الارض والسطح العلوي للمستوي الكتيم . وتمتاز هذه المنطقة بأنّ فراغاتها مملوءة جزئيا



الشكل (١-٨) التوزع العمودي للمياه الجوفية

بالمياه وجزئيا بالهواء ، وتقسم هذه المنطقة تبعا لأشكال تواجد المياه فيها الى ثلاث مناطق حسب العالم الامريكي داليد تود.

آ- منطقة مياه التربة: وتمتد هذه المنطقة من سطح الارض الى نهاية المنطقة التي تمتد اليها جذور النباتات ويختلف سمك هذه المنطقة باختلاف نوع التربة والنباتات ، وبسبب الاهمية الزراعية لماء التربة في تجهيز الرطوبة الى الجذور فان المزارعين وعلماء التربة درسوا توزع وحركة رطوبة التربة بصورة واسعة، المياه المتواجدة في هذه المنطقة تكون مرتبطة فيزياويا ومياه شعرية وشقالية.

ب- المنطقة المتوسطة: وتمتد هذه المنطقة من الحدود السفلى لمنطقة مياه التربة وحتى الحدود العليا للمنطقة الشعرية. وتتميز هذه المنطقة بوجود المياه الغشائية بشكل غالب كما

تمر عبرها المياه الشقالية ،وتتراوح سماكة هذه المنطقة بين الصفر وحتى عشرات الامتار وذلك حسب وضعية مستوي سطح المياه الجوفية بالنسبة للسطح.

جـ - المنطقة الشعرية : وهذه المنطقة تمتد من سطح المياه الجوفية وحتى حد الارتفاع الشعري للماء.

ان دراسة اشكال وقوانين انتقال المياه في منطقة التهوية تملك اهمية كبيرة لحل كثير من المسائل الهيدروجيولوجية مثل تقدير ظروف تغذية المياه الجوفية، امكانية تغذيتها اصطناعيا، الحفاظ عليها من التلوث ،التنبوء بنظام المياه الجوفية ،تملح التربة عند الري وغيرها من المسائل الكثيرة. ففي منطقة التهوية كماذكرنا اعلاه يمكن ان نصادف كل الانماط الرئيسية للماء (مياه بشكل بخار- مياه غشائية- مياه شعرية - مياه جاذبية ....).

تتم حركة المياه التي هي بشكل بخار في كافة الاتجاهات شاقوليا وافقيا وتتم هذه الحركة من الاجزاء ذات الرطوبة العالية الى الاجزاء ذات الرطوبة القليلة. وعندما تكون رطوبة الصخور اكبر من قدرتها العظمى على الامتصاص تتم الحركة من الصخور ذات الحرارة الدافئة الى الصخور ذات الحرارة المنخفضة وبالتالي تتم الحركة في الصيف من الاعلى نحو الاسفل وفي الشتاء من الاسفل الى الاعلى . عند تغير رطوبة الغلاف الجوي والصخور يلاحظ علاقة تبادلية بينهما حيث تتم حركة الابخار من أحد الاغلفة الى الاخر وعند انخفاض درجة الحرارة تحدث عملية تكاثف الابخرة ودخولها في الحالة السائلة.

اما المياه الغشائية فتتم حركتها تحت تأثير القوى الجزيئية

من الجزيئات ذات الغطاء السميك الى الجزيئات ذات السماكـــات الغشائية القليلة وتستمر الحركة ببطء شديد حتى تتساوى سماكـــات الاغشية بين الجسيمات وتزداد الحركة طردا مع زيادة درجة الحـرارة.

وتتم حركة المياه الشعرية تحت تأثير القوة الشعريـــة او قوى التوتـر السطحي وذلك بسبب التأثير المتبادل بين جزيئات السوائل والجسـم الصلب مثل تسرب مياه الامطار والمياه السطحية عبر فراغات التربـة والصخور الدقيقة وكذلك عند ارتفاع المياه الجوفية فوق مستوى المياه الجوفية عبر الفراغات والشقوق الدقيقة جدا (الشقوق الشعرية).

أما حركة المياه الثقالية في منطقة التهوية فتلاحظ عنـــد امتصاص مياه الامطار وكذلك المياه السطحية ومياه الري وهذه الحركة تحمل اسم التسرب او الرشح وهي تتم تحت تأثير قوى الثقالة الارضيـة وتستطيع وبكل حرية التحرك بمسامات وشقوق الصخر حتى تبلغ مستـوى المياه الجوفية مساهمة بذلك في تغذية هذه المياه .

٣-٢-٣ـ منطقة الاشباع :

وتمتد هذه المنطقة من سطح المياه الجوفية في الاعلى الـــى مستوى الاساس في الاسفل حيث تملأ المياه جميع الفراغات الموجودة فـي الصخور بما في ذلك المسامات والشقوق والفجوات . لذلك فان هـــذه المنطقة تكون مشبعة تماما بالمياه الثقالية والمياه المرتبطـــة فيزيائيا التي تصبح لديها القدرة على الحركة على اعماق تتجـــاوز عدة كم . وتتم الحركة بفعل فروق الضغط الهيدروستاتيكي وهـــذه الحركة في الوسط المسامي تعتبر الشكل الاساسي لحركة المياه الجوفية. وتتحرك المياه الجوفية في الاوساط الصخرية عبر أنظمة من الابنيـــة

المسامية والشقوق المفتوحة المتصلة ببعضها البعض والتي لها اشكال وابعاد مختلفة وتوزع متنوع جدا. لهذا تدرس حركة المياه في الاوساط المسامية بشكل شمولي وتحدد مميزاتها من اجل نقطة ... كامل في الوسط الذي يتم عبره الرشح. عند ذلك تعتبر سرعة الحركة من أهم ميزاتها وتسمى سرعة الرشح .

ويمكن وصف سرعة الرشح بواسطة كمية المياه التي تسيل في واحدة الزمن من خلال واحدة المساحة في مقطع عرضي للوسط المسامي. فاذا رمزنا للتعريف الحجمي للمياه الراشحة خلال واحدة الزمن ب(Q) ولمساحة المقطع العرضي للوسط المسامي الذي تسيل من خلاله المياه ب(F) فان سرعة الرشح(V) تعطى بالعلاقة التالية :

$$V = \frac{Q}{F} \qquad (٣-١)$$

وتقدر بواحدات السرعة سم/ثا ،م/يوم....

وتتحرك المياه الجوفية في الاوساط المشبعة بشكلين : صفائحي، ودوّامي . فالحركة الصفائحية تكون على شكل سيلانات صغيرة غير مضطربة ومتوازية فيما بينها،وتتحرك المياه فيها بسرعات غير كبيرة مشكلة تيارا واحدا مستمرا. بينما تتميز الحركة الدوّامية بسرعة كبيرة وبمظاهر مضطربة وبانزياح السيلانات بالنسبة لبعضها البعض. وتكون حركة المياه في الاوساط المسامية المشققة في الشروط الطبيعية صفائحية. بينما تكون دوامية في الفراغات والشقوق الكبيرة. كذلك تتغير الحركة الصفائحية الى دوامية بالقرب من الآبار اثناء الضخ الشديد .

وقد برهن العالم الفرنسي هنري دارسي عام ١٨٥٦ ان الحركة الصفائحية للمياه تخضع للقانون الخطي للرشح بعد ان درس حركة

حركة المياه في الاوساط المسامية المشبعة وقـــد استنتج العلاقـــة التالية :

$$Q = KF \frac{\Delta H}{L} \qquad (٤-١)$$

حيث :

K– ثابت تناسب يسمى بعامل الرشح،تتعلق قيمته بالخصائـــص الفيزيائية للصخر وللسائل الراشح .

Q– التصريف بالم^3/يوم.

F– مساحة المقطع الذي يمر عبره الماء بالم^2

ΔH– فرق منسوب المياه (م).

L– مسار الحركة بالمتر .

$\frac{\Delta H}{L}$ – الميل الهيدروليكي او تدرج الضاغط ويرمز له بالرمز(I).

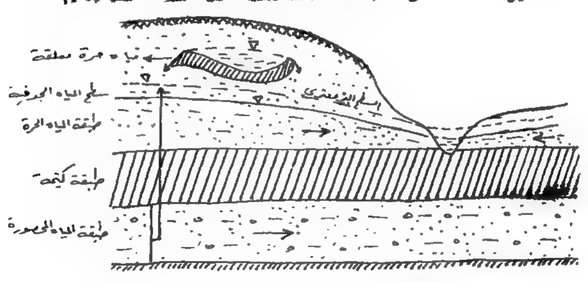
واذا قسمنا المعادلة (١-٤) على مساحة المقطع (F)واستخدمنـــا مفهوم سرعة الرشح (المعادلة (١-٢)) نحصل على قانون دارسي :

$$V = K.I \qquad (١-٥)$$

ان كمية المياه الحرة وامكانية حركتها ترتبط بشكل اساســـي بحجوم ومقاسات شقوق وفراغات الصخور. بمعنى آخر فان مقاسات وحجـوم الفراغات والشقوق تحدد نفوذية الصخور اي قدرتها على السماح للمياه بالحركة عبرها وبناء على ذلك تقسم الصخور الى صخور نفوذه وصخـــور غير نفوذه أيّ كتيمة.

ان وجود طبقات نفوذة وأخرى غير نفوذة في المقطع الواحـــد تشكل ظروف ملائمة لتجمع المياه الجوفية الثقالية الحرة في بعـــض الطبقات وبالتالي تشكل طبقات او آفاق حاملة للمياه. وتعرف الطبقة

الحاملةللمياه بأنها التشكيلة الجيولوجية الحاوية على مياه جوفية وتستطيع اعطائها، ويحد الطبقة الحاملة للمياه من الاسفل مستوى اساس وهو الطبقة الكتيمة التي تتوضع تحت الطبقة الحاملة للمياه. اما من الاعلى فان الطبقة الحاملة للمياه يمكن ان تحد بطبقة كتيمة او نفوذة. وهذا يحدد ظروف توضع الطبقة الحاملة للمياه وتغذيتها وعلاقتها مع الغلاف الجوي. وتمثل سماكة الطبقة المشبعة بالمياه سماكة الطبقة الحاملة للمياه ، بينما تمثل سماكة التشكيلة غير النفوذة التي تتوضع عليها الطبقة الحاملة للمياه سماكة الطبقة الكتيمة. وحسب العلاقات المتبادلة بين الطبقات الحاملة والكتيمة نميز عدة انماط من الطبقات الحاملةللمياه من اهمها الشكل (١-٩).



الشكل(١-٩) أنماط الطبقات الحاملة للميـــاه

آ- طبقة المياه الحرة المعلقة :

تتشكل هذه الطبقة في منطقة التهوية بفعل تجمع كميات محددة من مياه الامطار والمياه السطحية المتسربة من الاعلى على طبقـــات

كتيمة صغيرة الحجم فوق المستوي الحر للمياه الجوفية وتكون عادة قريبة من السطح .

ب - طبقة المياه الحرة :

وهي مجموعة الصخور الحاوية على مياه حرة والمتوضعة على اول اساس (كتيم) يقع تحت السطح، وتمتاز هذه الطبقة بأنها ذاتانتشار كبير وتتم تغذيتها بشكل اساسي على حساب رشح المياه السطحية ومياه الامطار،ويكون سطح المياه في هذه المنطقة خاضعا للضغط الجوي ويسمى السطح الحر او مرآة المياه الجوفية وهو يتعلق بالظروف المناخية وبفصول العام المتغيرة، وبالتالي فان تبدلات هذا السطح تعكس تغيرات حجم المياه الحرة المخزنة .

جـ طبقة المياه المحصورة :

تكون هذه الطبقة محصورة بين طبقتين كتيمتين ويمكن أن تصادف مضغوطة او غير مضغوطة فالطبقة المضغوطة تسمى طبقة المياه الارتوازية وتكون عادة خاضعة لضغط يفوق الضغط الجوي كما انها تكون كاملة الاشباع بالمياه وعندما يخترق بئر هذه الطبقة يرتفع الماء فوق السطح الفاصل بين الطبقة الكتيمة العلوية والطبقة الحاملة الى حد يسمى السطح البيزومتري او السطح الهيدروستاتيكي، وتسمى المنطقة التي تدخل منها المياه الى الطبقة الارتوازية بمنطقة التغذية وتكون عادة بعيدة عن منطقة انتشار هذه الطبقة.

1-2-3- منشأ المياه الجوفية :

تعتبر المياه الجوفية جزءا أساسيا من دورة المياه في الطبيعة المشتملة على المياه السطحية والجوفية.

تتشكل المياه الجوفية بشكل اساسي بفعل عملية التسرب فالساقط المطري والمياه السطحية تتسرب تحت تأثير قوى الثقالة من خلال مسامات الصخور وشقوقها الى الاعماق الى ان تصادف طبقة كتيمة فتتجمع المياه وتملأ كل فراغات الصخور وتشكل خزان مائي جوفي . وتتعلق كمية المياه المتسربة من السطح بعوامل كثيرة ليتولوجية وفيزياغية وميترولوجية وغيرها وتسمى هذه النظرية لتشكل المياه الجوفية بنظرية التسرب .

ان نظرية التسرب لم تستطع ان توضح مصدر المياه الجوفية في بعض المناطق كالصحاري مثلا حيث كمية الساقط المطري ضئيلة جدا يضاف الى ذلك درجات حرارة عالية تسبب تبخر سريع لهذا الساقط لذلك طرحت نظرية اخرى لتشكل المياه الجوفية تسمى نظرية التكاثف

تنص نظرية التكاثف على ان ابخرة الماء تتكاثف في الصخور السطحية الباردة والمتوضعة في الاقسام العلوية من الارض وتتجمع نواتج التكاثف لتشكل المياه الجوفية. وتسمى المياه الجوفية المتشكلة بكلتا الحالتين السابقتين التسرب والتكاثف بالمياه الشاردة.

اما النظرية العذرية لتشكل المياه الجوفية فتنص على ان تشكل المياه الجوفية العميقة تم اعتبارا من الماغما التي تكون مشبعة بمواد مختلفة بحالة غازية ومن ضمنها الهيدروجين والاوكسجين ونتيجة لحركة الماغما بفعل الحركات التكتونية ينتج تغيرات في درجة الحرارة والضغط وتبدأ المواد الغازية بالانطلاق وعند تحررها من الماغما يتشكل من اتحاد الهيدروجين والاوكسجين بخار الماء

الذي يبدأ والغازات الاخرى بالانطلاق نحو الاعلى عبر الشقوق ثم تبدأ عمليات التكاثف في الاماكن ذات درجات الحرارة الملائمة ويخرج قسم من هذه المياه الى السطح لاول مرة وتسمى بالمياه العذرية.

وهناك مصادر اخرى للمياه واهمها المياه الحبيسة التي تكون محتواة في الفراغات البينية للصخور عند زمن ترسبها والتي قد تكون مشتقة من المحيط او من مصادر المياه العذبة . ايضا هناك المياه ذات المنشأ الكيمياوي حيث انه من المعروف ان كثيرا من الفلزات والصخور تحوي في تركيبها على المياه كالجص والميرابيليت مثل : فالجص $CaSO_4.2H_2O$ يحوي 20.9 ٪ ماء بينما الميرابيليت $Na_2SO_4.10H_2O$ يحوي 55.9 ٪ ماء.

فهذه الصخور والفلزات عند تغير شروط التوازن الفيزياوية والكيمياوية يمكن ان تتخلى عن مياهها وتتجمع هذه المياه لتشكل مكمنا للمياه الجوفية.

١-٣-ه- الخواص الهيدروجيولوجية للصخور :

وهي مجموعة الخواص الفيزياوية التي تؤثر على تشكل وتوضع وحركة المياه الجوفية في هذه الصخور واهم هذه الخواص:

١-٣-ه-١- المسامية :

وهي مجموع الفراغات الموجودة في الصخر المطلق الجاف ويعبر عنها بعامل المسامية الذي هو عبارة عن نسبة حجم الفراغات الموجودة في الصخر الى حجم الصخر المطلق الجاف وهو دائما اقل من الواحد :

$$P = \frac{V_p}{V}$$

او يعبر عنها كنسبة مئوية ٪100

$$P = \frac{V_p}{V}$$

تلعب المسامية دورا مهما في الصخر فبها ترتبط خواص الصخور الاخرى وبخاصة الناقلية المائية والمعطائية والسعة المائيـــة والمتانة والانضغاط ... الخ .

ان الكثير من الخواص الفيزيائية الواردة اعلاه يرتبـــط بقياس الفراغات والشقوق ،فمثلا رشح وتسرب المياه الجوفية يتـــم فقط عندما يكون مقاس الفراغات والشقوق الموجودة في الصخر اكبـــر من 0.5 مليمتر . لذلك في الدراسات المائية نميز بشكل اساســي ومن وجهة نظر ديناميكية بين المسامية الفعالة التي تسمح بموجبها المسامات للسوائل والغازات بالتحرك خلالها تحت تأثير ضغوط مناسبة ومسامية غير فعالة لا تسمح بهذه الحركة بسبب ضيق هذه المسامـــات او كونها مغلقة اصلا . وبناء على ذلك فان المسامية الديناميكيـــة لا تأخذ بعين الاعتبار الفراغات المليئة بالمياه المرتبطـــة فيزيائيا . او المياه الشعرية لذلك فان قيمتها دائما اقل مـــن المسامية العامة .

١-٣-هـ-٦- الرطوبة الطبيعية للصخور :

وهي عبارة عن كمية المياه الموجودة في فراغات الصخور فـــي اللحظة الانية . تتغير رطوبة الصخور مع الزمان والمكان ،فصخـــور منطقة التهوية تتعرض لتغيرات يومية وفصلية وذلك وفقا لكميـــة

مياه الامطار المتسربة من سطح الارض والبخر وعدم ثبات الرطوبة النسبية للهواء الموجود في التربة، اما رطوبة صخور منطقة الاشباع فتكون تقريبا ثابتة ،ويتم تعيين الرطوبة بنسبة وزن او حجم الماء الى وزن او حجم الصخر الذي يحويه .

١-٣-٥-٣- السعة المائية :

وهي قدرة الصخور على استيعاب كمية معينة من المياه فسي فراغاتها والاحتفاظ بهذه الكمية عند جريانها الحر(تحت تأثير حقل الثقالة الارضية) وتبعا لشكل المياه المتواجدة في الصخر نميز عدة اشكال او مفاهيم للسعة المائية: السعة المائية الهيغروسكوبية، السعة المائية الجزئية او الغشائية، السعةالمائية الشعرية السعة المائية العظمى ،السعة المائية الصغرى .

وتلعب السعة المائية دورا مهما في الحسابات المتعلقة بحركة المياه الجوفية وتغذيتها، ويتم تحديدها بعدة طرائق حقلية ومخبرية.

١-٣-٥-٤- المعطائية المائية :

وتعتبر من اهم المعاملات الهيروجيولوجية التي تستعمل منذ حل الكثير من المسائل الهيدروجيولوجية كدراسة الحركة غير المستقرة للمياه الجوفية وحساب التغيرات المتوقعة لسطح المياه الجوفية عند بناء السدود . وتعرف المعطائية المائية بأنها قدرة الصخر المشبع بالمياه على اعطاء هذه المياه بطريقة الجريان الحر تحت تأثير حقل الثقالة الارضية. ويعبر حسابيا عن المعطائية

المائية بعامل المعطائية المائية ( ) الذي هو عبارة عن نسبة حجم الماء الحر المعطى الى حجم الصخر العام كجزء من الواحد او كنسبة مئوية . تتغير المعطائية المائية مع الزمن وتتعلق قيمتها بأبعاد الفراغات الموجودة في الصخر . ومن الطبيعي انه كلما كبرت الفراغات كلما تحسنت معطائية الصخور المائية .

١-٣-٥- النفوذية المائية :

وهي قدرة الصخور على السماح للمياه ان تمر عبر فراغاتها تحت تأثير قوى ضغط مطبق على هذه الصخور.

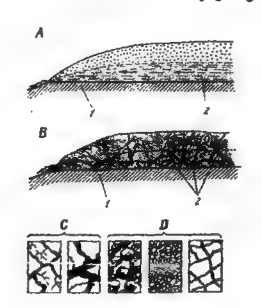
وتتعلق درجة نفاذية الصخور بابعاد الفراغات ،فكلما كبرت هذه الابعاد كلما اصبح مرور الماء سهلا وبالتالي كبرت النفاذية المائية . فالغضار ذو مسامية عالية تصل الى 60 ٪ومع هذا فهو صخر غير نفوذ لان اقطار مساماته صغيرة ،وبالتالي فان المياه الموجودة ضمن هذه المسامات مرتبطة فيزياويا بشكل متين بحيث لا تستطيع قوى الثقالة تحريكها على عكس الرمل ذو المسامية التي تبلغ 30 ٪ الا انه يتميز بنفوذية عالية .

ويتم تحديد النفوذية كميا بواسطة ما يسمى بعامل النفوذية المائية او عامل الرشح (K) ويقدر عادة بالمتر/يوم .

وحسب قيمة عامل النفوذية قسمت الصخور الى ثلاث مجموعات :

آ- صخور نفوذة $K > 1$ م/يوم وتنتمي الى هذه المجموعة الرمال والحصى والاحجار الرملية المشققة ،والكونغلوميرا والصخور

الكلسية والدولوميتية المكرستة والمشققة وغيرها شكل (١-١٠)



الشكل (١-١٠) انواع الصخور النفـــــوذة.

A - صخور رملية نفوذة.

B - صخور كتلية مشققـة

D - حجم الحبات وتوزعها في الصخور النفوذة.

١ - صخور كتيمة.

٢ - صخور خازنة للمياه.

ب- صخور نصف نفوذة $1>K>0.001$ م/يوم.

جـ صخور غير نفوذه (كتيمة) $0.001>K$

١-٣-٦- الخصائص الفيزياوية والتركيب الكيمياوي للمياه الجوفية:

١-٣-٦-١- الخصائص الفيزياوية :

ان اهم الخصائص الفيزياوية للمياه الجوفية التي يجب معرفتها عند تحديد صلاحية هذه المياه للاستعمالات المختلفة هي درجة الحرارة، الشفوفية، اللون ، الرائحة ، الطعم، الكثافة .. الخ) . ان بعض هذه الخصائص (درجة الحرارة، الشفوفية، اللون ، الرائحة ،الطعم) يمكن ان يشعر بها الانسان بواسطة حواسه .

فالقسم الاكبر من المياه الجوفية لا يتمتع باية رائحة، الا أنه في بعض الاحيان تتمتع المياه الجوفية برائحة قد تكون كبريتية او مستنقعية او متعفنة ،وهذا يتعلق بنوعية الغازات المذابة فيها مثل H_2S الذي يعطي رائحة البيض الفاسد . ويتعلق طعم المياه الجوفية بنوعية المواد المنحلة فيها فاذا احتوت على ملح الطعام NaCl يكون طعمها مالحا واذا احتوت على KCl يصبح طعمها مرا اما وجود المواد العضوية فيعطي المياه الجوفية طعما يميل الى الحلاوة. وتعتبر المياه الجوفية بلا لون عادة ،وتتلون فقط عند احتوائها على شوائب حيث تصبح عندها اما صفراء اللون او حمراء او خضراء. فاللون الاصفر و الاحمر تسببه اكاسيد الحديد المختلفة، اما الالوان الخضراء والزرقاء فتسببها المركبات المرجعة للحديد وكبريت الهيدروجين. وتتصف المياه الجوفية بدرجات حرارة متغيرة في حدود كبيرة وهي تقسم وفقا لدرجة حرارتها الى :

- مياه باردة ذات حرارة اقل من ٢٠°م .
- مياه دافئة حرارتها ٢٠-٣٧م° .

- مياه حارة تبلغ حرارتها ٣٧-٤٢°م .
- مياه ثرمالية حرارتها اكثر من ٤٢°م .

اما كثافة المياه فتحدد بنسبة كتلتها الى حجمها عند درجة حرارة معينة،وكوحدة كثافة للمياه،توءخذ كثافة مياه مقطرة في درجة حرارة (٤) مئوية. وتتعلق كثافة المياه بدرجة حرارتها وبكمية الاملاح والغازات المنحلة فيها، بالاضافة الى كمية المواد العالقة بهـــا وتتغير قيمة كثافة المياه الجوفية من ١ وحتى ٤ر١غ/سم³.

١-٣-٦-٢- التركيب الكيميائي للمياه الجوفية :

يتشكل التركيب الكيميائي للمياه الجوفية نتيجة لهجـــــرة العناصر والمركبات الكيميائية في القشرة الارضية ضمن شـــــروط جيولوجية معينة،حيث تجري اثناء ذلك عمليات فيزيائية - كيميائيـة وجيولوجية كثيرة واهمها الانحلال والانحلال الجزئي ، الاكسدة والارجاع، التبادل الشاردي التبخر،نقل المواد بواسطة المياه الراشحـــة، ترسب الاملاح وغيرها من العمليات الاخرى .

فالصخور التي تتسرب من خلالها مياه الامطار والمياه السطحيـة تشارك من طريق انحلال بعض فلزاتها بتغير التركيب الكيميائي للمياه الجوفية حيث يزداد غنى المياه بالكالسيوم والمغنزيوم عند انحلال فلزات الكالسيت والجبس كما يزداد محتواها من الصوديوم والبوتاسيوم عند انحلال الصخور الملحية. وتختلف قدرة المياه على حل العناصر الكيميائية ومركباتها،بحدود كبيرة ويتعلق هذا بدرجة الحـــرارة والضغط ودرجة الحموضة وكمون الاكسدة والارجاع وبتراكيز المـــواد

المنحلة الاخرى . كذلك يختلف التركيب الكيميائي للمياه الجوفية باختلاف منشئها (جوية - بحرية-عذرية .. الخ) فلقد تم في الوقت الحاضر تحديد اكثر من ٦٠ عنصر كيميائي من جدول مندليف في المياه الجوفية واكثر هذه العناصر موجودة بكميات قليلة جدا تكاد لا تذكر، وبشكل عام فان المياه الجوفية تحتوي على مكونات رئيسية واخرى ثانوية تحدد نمط المياة الجوفية.

ومن اهم العناصر الاساسية التي تدخل في تركيب المياه الجوفية SO_4^{2-}, Cl , Na^+, HCO_3^- , Cl^{2+} , Mg^{2+} . وتنتشر في المياه العذبة بشكل اساسي شوارد Ca^{2+} , HCO_3^- بينما في المياه المالحة تتواجد بشكل اساسي شوارد Na^+ , Cl^- . اما العناصر الثانوية التي تدخل فيتركيب المياه الجوفية فأهمها البروم واليود والليثيوم والسترونيوم والحديد والزنك والنحاس وغيرها.

ان اختلاف اتحادات العناصر الستة الاساسية يحدد المميزات الاساسية للمياه الجوفية مثل القلوية والملوحة والقساوة. فمثلا وجود تركيزات كبيرة من ايونات الصوديوم Na^+ والكلور Cl^- يعطي المياه طعما مالحا ، بينما تركيزات كبيرة من Na^+ و HCO_3^- يعطيهما طعما قلويا.

وتتواجد الغازات في المياه الجوفية منحلة او بشكل حر، وهي تنتقل من شكل لاخر وفقا لتغيرات درجة الحرارة والضغط وتتناسب انحلالية معظم الغازات في المياه طردا مع ضغط الغاز وعكسا مع درجة الحرارة واكثر الغازات انتشارا في المياه الجوفية هي الاكسجين وغاز ثاني اوكسيد الكربون وكبريت الهيدروجين والآزوت

والميثان والهيدروجين والغازات النادرة، وعندما تحتوي المياه على هذه الغازات تكتسب خصائص مختلفة.

وتقسم المياه الجوفية وفقا لشواردها المسيطرة الى :

١- مياه هيدروكربوناتية غنية ب HCO_3^-

٢- مياه سلفاتية غنية بشاردة SO_4^{2-}

٣- مياه كلورية غنية بشاردة Cl^-

اما حسب كمية المادة المنحلة فتقسم وفقا للعالم الروسي فرنادسكي الى اربع مجموعات رئيسية :

١- مياه عذبة لا تزيد كمية المادة المنحلة فيها عن ١غ/ل.

٢- مياه متوسطة الملوحة كمية المادة المنحلة فيها من(١-١٠)غ/ل.

٣- مياه مالحة (١٠-٥٠ غ/ل).

٤- مياه شديدة الملوحة اكثر من ٥٠غ/ل.

كما يتضح من التصنيف السابق فان معدل الملوحة يتغير ضمن نطاق واسع من ١٠ ميليغرامات وحتى مئات الغرامات في الليتر الواحد، وافضل المياه التي تستخدم للشرب هي المياه التي لا تزيد ملوحتها عن ١ غ/ل. الا انه عند الحاجة يمكن استخدام المياه القليلة الملوحة (التي لا تزيد ملوحتها عن ٢-٣ غ/ل).

١-٣-٧- الينابيع :

هي اماكن خروج المياه الجوفية على سطح الارض، وهي تنتج عمليا عن تقاطع سطح الارض التضاريسي مع منسوب المياه الجوفية.

تتمايز الينابيع عن بعضها البعض تبعا لكمية تصريفها وحرارة

مياهها المتدفقة ودرجة ملوحتها والمناطق التي تتدفق منها. وعادة تعطى اهمية كبرى للينابيع التي يكون تصريفها كبيرا وتدفقهـــــا مستمرا، اذ ان دراسة تغيرات تصاريف هذه الينابيع ومراقبتها لسنوات عديدة يلعب دورا كبيرا في حل الكثير من المسائل الهيدروجيولوجية كتقدير الميزانية المائية للمياه الجوفية والاحتياطي المائـــــي وكذلك في دراسة نظام المياه الجوفية.

ويتعلق تصريف الينابيع بنفوذية الطبقة الحاملة للميـــاه وبمساحة منطقة التغذية وحجم هذه التغذية ويلاحظ وجود الينابيـــع ذات التصاريف العالية عادة في المناطق ذات النفوذية العاليـــة. اما مساحة منطقة التغذية فتتغير من اقل من الف م^{2} في المناطـــق الرطبة الى الاف الكيلومترات المربعة في المناطق الجافة. وتكـــون هناك علاقة تناسب طردية بين تصريف النبع ومساحة منطقة تغذيتـــه. ويؤثر حجم التغذية تأثيرا كبيرا على تصريف الينابيع . فـــي المناطق ذات الامطار الغزيرة والنفوذية العالية تبلغ قيمة الرشح اكثر من ٢ متر في السنة بينما لايتجاوز حجم التغذية ١ سم فـــي المناطق الجافة وذات النفوذية القليلة.

وتصنف الينابيع حسب الطبقة المائية المغذية للنبع الى مـــا يلي :

١- ينابيع تتغذى من مياه منطقة التهوية: وتعتبر هذه الينابيع بشكل عام فصلية اذ انها يمكن ان تختفي صيفا وتعود للظهور من جديد في بقية فصول السنة.

٢- ينابيع تتلقى تغذيتها من طبقة المياه الحرة وتكون فـــي

اغلب الاحيان دائمة التدفق ومياهها تكون عادة غير مضغوطة الا في بعض الحالات النادرة حيث يلاحظ ضغط محلي .

٣- ينابيع تتلقى تغذيتها من طبقة المياه الارتوازية (المضغوطة) وتمتاز هذه الينابيع بتصريفها الكبير وبثبات هذا التصريف نسبيا ، وبثبات نظام المياه الجوفية بشكل عام .

وهناك تصانيف اخرى كثيرة حسب درجة حرارة مياه الينابيع (حارة - معتدلة - باردة ..الخ) وحسب حركة المياه (هابطة لينابيع الطبقة الحرة ، صاعدة لينابيع الطبقة الارتوازية ...الخ) اما حسب نوعية الصخور الحاملة للمياه فتكون(كارستية ،شقوق ...) ويمكن ان تصنف ايضا حسب استعمالات المياه المختلفة .

١-٣-ب- آبار المياه :

عندما ينبثق الماء انبثاقا طبيعيا فوق سطح الارض يسمى ينبوعا ، اما البئر فهو ثقب يحفر ابتداء من سطح الارض حتى يصل الحفر الى ما دون مستوى المياه الجوفية . ويعتبر حفر الآبار من أنسب الطرائق للحصول على المياه الجوفية .

ويقسم آبار المياه حسب طريقة الحصول على المياه الى آبار ارتوازية وهي الآبار التي يتدفق منها الماء تلقائيا وآبار حرة وهي التي لا يتدفق منها الماء تلقائيا الى السطح بل يجب استعمال مضخات خاصة للحصول على المياه منها . وكلا النوعين السابقين ينقسم بدوره الى نوعين اثنين هما :

١- الابار التامة وهي التي تخترق الطبقة الحاملة للمياه حتى

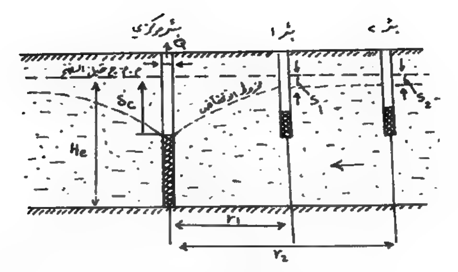
مستوى الاساس ، وتندفع المياه الى هذه الآبار من خلال الفتحات الموجودة على جدران هذه الآبار .

٢ـ الآبار غير التامة التي لا تصل الى مستوى الاساس وتندفع المياه الى هذه الآبار من خلال الفتحات الموجودة على جدرانها ومن قاع هذه الآبار ايضا .

وعند ضخ المياه الجوفية من بئر ما فان منسوب المياه ينخفض في المنطقة المحيطة بهذا البئر ويأخذ هذا الانخفاض في الاراضي المتجانسة شكل مخروط مقلوب يسمى بمخروط الانخفاض . وعندما يتوقف الضخ فان منسوب المياه الجوفية يعود الى وضعه الاصلي . اما في حال استمرار الضخ بشكل متواصل ولفترات طويلة فان هذا المخروط يتسع وتصبح عندها عودة منسوب المياه الى مستواه الطبيعي بحاجة لفترة طويلة، وحتى يمكن ان يؤدي ذلك الى جفاف بعض الآبار المجاورة . وتسمى المسافة التي يظهر فيها تأثير الضخ في البئر على مستوى المياه الجوفية باسم نصف قطر التأثير شكل (١-١١) .

ويسمى سطح المياه المنخفض في البئر بفعل الضخ بمستوى الماء الديناميكي (الحركي)، اما سطح المياه الجوفية الاولي قبل الضخ فيسمى بالمستوى الستاتيكي .

ان تحديد قيمة قطر التأثير تملك اهمية كبيرة وخصوصا لتجنب حفر آبار تتداخل مخاريط انخفاضها ، فمثلا اذا حفرت عدة آبار قريبة من بعضها فان ذلك يؤدي الى انخفاض عام في منسوب المياه الجوفية



الشكل(١-١١) مخطط يوضح حركة المياه الجوفية باتجاه البئر الحرة وتشكل مخروط الانخفاض

- البئر المركزي - يضخ منها الماء.

١-٢- آبار مراقبة.

في هذه المنطقة، وقد يؤدي ذلك الى جفاف كامل للمياه الجوفية وخصوصا في المناطق الجافة ونصف الجافة.

لذلك يتم دائما الحرص على تقدير كميات المياه المسموح بضخها من الآبار والمسافات الواجب تركها بين الآبار حتى لا يحصل انخفاض منسوب المياه الجوفية الى الحد الذي يهدد باستنزاف الخزان المائي الجوفي.

١-٣-٩- الفعل الجيولوجي للمياه الجوفية :

تلعب المياه الجوفية دورا مهما في تطور القشرة الارضية، فانتشارها الواسع وحركتها يقودان الى تأثير متبادل مع الصخور وبالتالي الى اعادة انتشار المواد في القشرة الارضية وكذلك تساهم في تشكيل مكامن اقتصادية مفيدة بتطور عمليتي الاكسدة والارجاع

وغيرها من العمليات . وبشكل عام فان الفعل الجيولوجي للميـــــاه الجوفية يتلخص بما يلي :

- التأثير الكيميائي المتبادل مع الصخور وخاصة الانحلال والانحلال الجزئي وبالتالي تشكيل فجوات وقنوات وكهوف واشكال كارستية وتدعى هذه العملية بالحت الكارستي .
- الانهيارات الارضية .
- نقل المواد الرسوبية ومن ثم اعادة توضعها .

١-٣-٩-١- الحت الكارستي :

كما اشرنا سابقا تشكل المياه الجوفية عامل حت وتفكيـــك كبيرين ، فأثناء حركتها نحو الاسفل تنجز مجموعة من العمليـــات [illegible]ية واهم هذه العمليات الانحلال والانحلال الجزئي .

في البداية نعرف الانحلال بانه انتقال كافة العناصر الداخلة في تركيب الفلز الى المحلول مع تحطيم شبكته البلورية . امـــا الانحلال الجزئي فهو انتقال عنصر ما من فلز معين الى المحلـــول دون ان تتحطم الشبكة البلورية للفلز .

انأكثرالصخور تأثرا بالانحلال هي الصخور الكلسيةوالجصية ، حيث تتـم آلية الانحلال للصخور الكلسية على النحو التالي :

$$CaCO_3 + H_2O + CO_2 \longrightarrow Ca(HCO_3)_2$$

الكالسيت بيكربونات الكالسيوم

ان عملية الانحلال هذه تتعلق بعوامل مختلفة من اهمها نوعيـة الصخور، درجة الحرارة نسبة CO_2 في الماء ،عرض الشقوق ووجود املاح

في المياه الجوفية.

فقد لوحظ بأن اكثر الصخور انحلال بالماء هي الصخور الملحية (الهاليت) ثم الجص ،بينما انحلال الكالسيت يكون اكثر صعوبة ، اذ تتطلب عملية انحلاله بالاضافة الى الماء كمية معينة من غاز ثاني اوكسيد الكربون ودرجة حرارة معينة وقد تبين تجريبيا بانه من اجل انحلال جزئي واحد من الملح يلزم ٣ جزيئات ماء. بينما من اجل انحلال جزئي واحد من الجص يتطلب الامر ٤٨٠ جزيء من الماء.اما الكالسيت فمن اجل جزيء واحد يلزم ١٠٠٠ـ٢٠٠٠ جزيء ماء. كذلك تلعب درجة الحرارة دورا كبيرا في تسريع عملية الانحلال وقد اوضح ذلك العالم الروسي بابوف بالنسبة لصخر الكالسيت وفق الجدول التالي

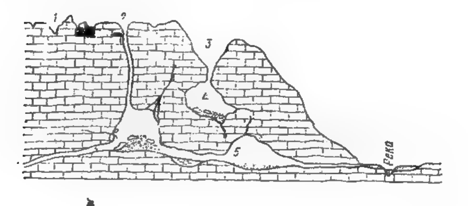
انحلال الكالسيت ملغ/ل	درجة الحرارة
14.23	25
15.04	50
17.79	100

اما عرض الشق فيلعب دورا رئيسيا في عملية الانحلال،فقد تبين ان الانحلال لا ينشط الا عندما يكون عرض الشق اكثر من ١ ملم .

وتتعلق درجة الانحلال ايضا بمحتوى المياه من الاملاح والمعادن المحلولة. فالمياه العذبة اقل قدرة على حل الفلزات المكونة للصخور بمقارنتها مع المياه المالحة او الغنية بالمعادن. فقد

لوحظ بأن وجود ملح الطعام في المياه يزيد انحلال الجلوب
مرة بينما وجود سلفيدات المغنزيوم يجعل الجبس غير قابل للانحلال .

ويحصل بعد عملية الانحلال هذه توسع للشقوق الصخرية تدريجيا وتصبح بعد ذلك بشكل فجوات كبيرة قد تكون مفتوحة من الاعلى اومغلقة واعماقها تتراوح بين ١ وعشرات الامتار تسمى بالفجوات الكارستية. وتتحرك المياه الجوفية عبر الشقوق التي تصادفها والتي توسعها تدريجيا حتى تصبح بشكل قنوات تصل بين الفجوات او تصل هذه الفجوات مع سطح الارض بفتحة تسمى الفوهة الكارستية الي تشارك في تشكيلها المياه الجارية السطحية ايضا شكل (١-١٢).



الشكل (١-١٢) مخطط يوضح اهم الاشكال الكارستية

1ـ اخاريز كارستية 2ـ ثقب كارستي 3ـ قمع كارستي

5ـ تجويف كارستي 4ـ مغارة كارستية.

يتبين مما ذكر اعلاه ان الكارست ينشأ في المناطق التي تنتشر فيها الصخور القابلة للانحلال (الرخوة) مثل الكالسيت ، الدولوميت ، الملح ، الغضار وغيرها. وتتطور الاشكال الكارستية على

السطح وفي الاعماق . فعلى السطح نلاحظ بشكل واسع وتعطي تضاريـــــــس خاصة تسمى بالسطح الكارستي . وفي الداخل تتطور الاشكال الكارستية بمظاهر مختلفة ،فقد تكون بشكل قنوات او فجوات مغلقة او كهـــــوف او مغارات كارستية . ويمكن ان نلاحظ كافة الاشكال الكارستية السطحية والداخلية في نفس المنطقة، ومثال على ذلك منطقة القرم الجبليـــــة حيث نلاحظ فيها المظاهر الكارستية من السطح وحتى عمق ١٠٠٠ متـــــر واكثر.ويمكن لعملية الكارست ان تتطور ببطء او بشكل سريع ويلاحـــظ من خلالها تغيير معالم سطح الارض في منطقة ما او تغيير نظام المياه الجوفية وتشكيل نظام جديد .

تكون الاشكال السطحية للكارست بشكل قموع وافاريز كارستيـــة وحفر عميقة يصل عمقها الى ٣٠ متر وقطرها الى ٣٠٠ متر وتنفصل هذه الحفر العميقة عن بعضها البعض بجدران او نتوءات مخربة . وتتشكـــل على السطح اقنية كارستية وتجاويف وتتصل فيما بينها مع استمـــــرار تطور عملية الكارست لتشكل في النهاية اودية واسعة تجري فيهـــــا المياه الجوفية والمياه المتسربة من السطح .

ان التنوع الكبير يكون في الاشكال الكارستية الجوفية واهـم هذه الاشكال المغارات والكهوف . وهي تجاويف مختلفة الابعاد وتتصـل بأقنية وممرات ضيقة . وفي اغلب الاحيان تتشكل جداول جوفية تـــزداد عمقا واتساعا مع استمرار عمليات الحت الكارستي الجوفي ،وتتحــول في كثير من الاحيان الى مغارات واسعة تتعرض الصخور التي تعلوهـــا بفعل عامل الثقالة الى حدوث العديد من الانهيارات الارضية . وتتحدد الحدود السفلى للاشكال الكارستية الجوفية بالارتفاع المطلق لنقطة

خروج المياه الجوفية الى السطح ،ويتعلق عمق انتشارها بتضاريس المكان . فيصل عمق انتشارها في المناطق السهلية الى عشرات الامتار،بينما في المناطق الجبلية يبلغ مئات بل آلاف الامتار.

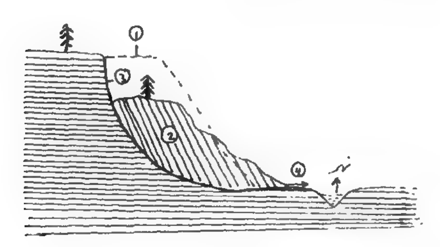
وتحتل دراسة الظواهر الكارستية مكانة هامة في الدراسات الهيدروجيولوجية والجيولوجية الهندسية ،وخاصة عنداختيار مكان حفر الآبار وامكنة اقامة المنشآت الهندسية. فكثيرا ما يخدع الانسان بقساوة الصخور الكلسية فيقيم عليها المنشآت دون الانتباه الى الفجوات الكارستية التي قد تحتويها هذه الصخور وبصورة خاصة الفجوات المغلقة والقريبة من السطح. فنتيجة الحمولات المركبة على هذه الصخور من الاعلى ينخفض سطح الارض فوق منطقة الفجوة الكارستية مشكلا حفرة قد يصل عمقها الى عشرات الامتار. وقد حصلت مثل هذه الظاهرة في منطقة جبل قاسيون المطل على مدينة دمشق في السبعينات من هذا القرن ، اذ غارت عدة منشآت سكنية مأهولة وقد ادى هذا الى حدوث كوارث بشرية ومادية في هذه المنطقة.

١-٣-٩-٢- الانهيارات والانزلاقات الارضية :

يمكن للمياه الجوفية ان تؤدي الى حدوث انقطاع وتحرك لكتل ضخمة من الصخور على المنحدرات تحت تأثير حقل الثقالة الارضية، وذلك عندما تتألف طبقات هذه المنحدرات من صخور ضعيفة النفوذية كالصخور الغضارية مثلا ،وتتوضع فوقها صخور غير متماسكة ضعيفة الارتباط ومشبعة بالمياه .

ويقاوم التحرك على المنحدرات الاحتكاك بين حزئيات الكتلـا

المتحركة ومواد المنحدر، وعندماتكون المقاومة اعظم من تأثير حقل الثقالة الارضية يظل المنحدر ثابتا بما عليه من مواد سطحية ، ولكن عندماتزداد كمية المياه في الصخور يزداد وزن وحجم هذه الصخور وتنقص قوى التماسك الداخلية ، كما يزداد الضغط الداخلي بسبب امتلاء المسامات بالمياه ، ونتيجة لما سبق يزداد تأثير قوى الثقالة ويتفوق على المقاومة الناتجة عن الاحتكاك وعن القوى الداخلية للمواد السطحية مما يؤدي الى تخريب توازن توضع هذه الصخور ، وبالتالي يؤدي ذلك الى حدوث حركة لكتل ضخمة على سطوح هذه المنحدرات ، شكل (١-١٣) ،



الشكل (١-١٣) يوضح انفصال الكتلة عن المنحدر

١- مستوى تضاريس السطح قبل الانهيار،

٢- الكتلة المنهارة،

٣- منحدر الانهيار ،

٤- نبع ،

وهذا ما يحدث احيانا في بعض مناطق السلسلة الساحلية في القطر العربي السوري ،واذا كانت الفواصل والميول في الصخور التي تعتليها الصخور غير المتماسكة والمشبعة بالماء ،موازية لانجدار المنحدر فانها تسهل عملية انفصال الكتل وانهيارها . ويكون الدليل الواضح لبداية تشكل الانهيارات هو التشققات على طول المنحدرات .

ويختلف معدل سرعة الحركة تحت تأثير الجاذبية ،اختلافا كبيرا حسب نوعية الكتل المنهارة . فالحركة بطيئة في زحف التربة واسرع في حالة الكتل الصخرية الكبيرة التي تنفصل عن المنحدرات الشديدة وبالتالي يمكن ان تتم هذه الحركة خلال شهور او سنة او تتم بسرعة كبيرة خلال بضع دقائق او ساعات . وتتسارع حركة الانهيارات من جراء الهزات الارضية او الهزات التي تنشأ عن حركة القطارات او عند حدوث الانفجارات .

وتؤدي الانهيارات الى حدوث اضرار كبيرة في بعض الاحيان، اذ تؤدي الى تهديم بيوت كثيرة وتخريب خطوط السكك الحديدية والجسور.

١-٢-٩-٣- نقل وتوضع رسوبات المياه الجوفية :

تحل المياه الجوفية المواد المعدنية وتنقلها من احد أجزاء القشرة الارضية الى الجزء الآخر وهي بحالة معلقة في اغلب الاحيان حيث تتوضع هذه المواد عند توفر ظروف ملائمة مشكلة مختلف

التوضعات المفيدة، وبذلك تساهم المياه الجوفية الى حد كبير في توزيع المواد على سطح القشرة الارضية.

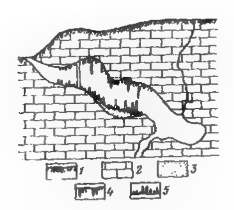
تحوي المحاليل اتحادات من البوتاسيوم والكالسيوم والازوت والمنغنيز والحديد والسيليس والنحاس والتوتياء وغيرها. ويترسب من المحاليل الجزء الاكثر تركيزا من الاملاح. حيث تملأ هذه المواد الفراغات والشقوق الموجودة في الصخور، مما يجعل هذه الصخور اكثر لحمة وتماسكا، اذ تتحول الرمال الى احجار رملية والحصى والحصباء الى كونغلوميرا، بينما المحاليل المشبعة بالحديد والسيليس تعطي صخورا حديدية او سيليسية. وتصادف مثل هذه التوضعات في الصخور ذات المسامية العالية كالصخور الكلسية. وعند اغناء الصخور بالمواد الحديدية يتغير لونها، اما اغتناشها بالمواد السيليسية فيزيد من قساوتها. كذلك تتشكل عروق معدنية ذات سماكات غير كبيرة نتيجة امتلاء الشقوق بالمواد المعدنية. وفي اماكن خروج المحاليل ذات الملوحة العالية على السطح يمكن ان تتشكل مختلف الاتحادات المعدنية وايضا فانه من اشهر توضعات المياه الجوفية الصواعد والنوازل.

فبعد مرور فترة زمنية معينة على تشكل الفجوات والكهوف الكارستية ينمو فيها ما يسمى بالصواعد والنوازل. وتتجلى آلية تشكلها باعادة ترسيب الكالسيت من محلول بيكربونات الكالسيوم :

$$Ca(HCO_3)_2 \longrightarrow CaCO_3 + CO_2 + H_2O$$

حيث تترسب النقاط الهابطة على شكل اعمدة نوازل تتدلى من سقوف الكهوف والمغارات، اما النقاط الراشحة الساقطة على ارض

هذه الكهوف ،والتي لم تترسب على شكل نوازل ،فانها سرعان ما تشكل في النقاط المقابلة اعمدة من الكالسيت على ارض المغارة تدعى بالصواعد شكل (١-١٤)٠



الشكل (١-١٤) الصواعد والنوازل

١- طبقة التربة٠

٢- صخور كلسية٠

٣- احجار رملية٠

٤- نوازل ٠

٥- صواعد ٠

اما في الكهوف والمغارات المتشكلة ضمن صخور ملحية تبخرية مؤلفة من الملح والجبس والانهيدريت فيتم تشكل الصواعد والنوازل فيها عن طريق رشح المحاليل المائية الغنية بشوارد SO_4^{2-} ،حيث يؤدي رشحها الى ترسيب كبريتات الكالسيوم على شكل اعمدة نوازل في اسقف المغارات والكهوف واعمدة صواعد على ارض هذه المغارات والكهوف ٠

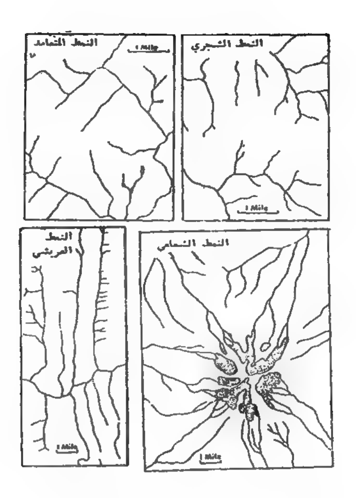
١-٤- الفعل الجيولوجي للمياه الجارية السطحية

تشمل المياه الجارية السطحية كل المياه التي تسقط على الارض وتسيل على سطحها في هيئة جداول وانهار متخذة طريقها مع الانحدار العام لسطح المنطقة لتصب في نهاية المطاف في البحيرات او البحار او المحيطات او اية منطقة منخفضة. وتعتبر المياه الجارية السطحية العامل الرئيسي في تغيير ملامح السطح الخارجي للقشرة الارضية وهي من اهم عوامل التعرية الثلاثة: الماء والهواء والجليد .

وتقدر الهطولات التي تسقط على سطح الارض بهيئة امطار او ثلوج او جليد سنويا بحوالي (٥٠٠,٠٠٠ كم^3) منها ٩٩,٢ الف كم^3 تسقط على سطح اليابسة، اما الباقي فيسقط على المحيطات. ان كمية كبيرة من هذه المياه حوالي ٦٣ الف كم^3 تتبخر لتعود ثانية الى الغلاف الجوي اما الكمية الباقية ٣٦,٣ الف كم^3 فتجري على سطح الارض او تتسرب عبر طبقات القشرة الارضية.

١-٤-١- انماط الشبكة النهرية :

ان اشكال الانهار ووديانها وكذلك نظام تطورها يعتمد بشكل كبير على البنية الجيولوجية والطبيعة الصخرية للاراضي التي تمر بها هذه الانهار من جهة وعلى تاريخ هذه الاراضي من جهة اخرى. وبشكل عام نميز اربعة انماط رئيسية للشبكة النهرية. شكل (١-١٥).



شكل(١-١٥) أنماط الشبكة النهرية .

١- النمط الشجري Dentritic type

ويمتاز هذا النمط بالتفرعات النهرية غير المنتظمة في اتجاهات مختلفة . ويصادف هذا النمط في المناطق التي تتألف من صخور متجانسة مثل الصخور النارية غير المشققة والطبقات الرسوبية الافقية والحطام الصخري المتجانس . وفي هذه الحالات فان الاختلاف في مقاومة الصخور قليل جدا بحيث لا يوءثر بشكل واضح على تحديد اتجاهات الانهار .

٢- النمط الشبكي (العريشي) Trellis type

ويتشكل هذا النمط في المناطق المؤلفة من طبقات مائلة ومطوية تتناوب فيها طبقات مؤلفة من صخور قاسية مع طبقات اخرى غير متماسكة (لينة) . وهو عبارة عن نمط مستطيل الشكل تكون الروافد فيه متعامدة على الجداول الرئيسية.

٣- النمط التعامدي Rectangular type

وهو نظام نهري يتصف بانحناءات متعامدة فيما بينها في مجرى النهر. وهو منتشر في المناطق المؤلفة من صخور نارية متشققة حيث تتبع فروع الشبكة النهرية هذه التشققات التي تتصف بتأثرها السريع بعمليات الحت .

٤- النمط الشعاعي Radical type

ينتشر هذا النمط في مناطق التراكيب الصخرية المخروطية والقبابية الشكل وهو يتألف من عدد من المجاري المائية تنحدر من قمم المخروطات البركانية او من منطقة مركزية عالية خارجا في جميع الاتجاهات ،ويظهر هذا النمط واضحا جليا فوق منحدرات الكثير من المخروطات البركانية المركبة كمخروط اثناوفوجي ياما.

١-٤-٢- انواع الانهار :

استنادا الى علاقة الانهار بالارض التي تجري فوقها تقسم الانهار الى الانواع التالية :

١- الانهار التابعة Consequent rivers

تتبع هذه الانهار في جريانها اتجاه المنحدر لهذا سميت بالانهار التابعة وتقع هذه الانهار عموما في منطقة الصخور المتماسكة ولها عموما نمط شجري وذلك بسبب عدم وجود اختلاف في طبيعة الصخور الذي يجري النهر وروافده فوقها .

- الانهار الموافقة او اللاحقة Subsequent rivers

تتحدد مجاري هذه الانهار بطبيعة صخور الحوض النهري،فاذا كانت صخور الحوض غير متجانسة وتتفاوت في درجة مقاومتها للتعرية ،فان الانهار تشغل مناطق الصخور الضعيفة وهي عموما تجري باتجاه الطبقات كما هو الحال في النمط العريشي .

٣- انهار السبق (التحوم) Antectedent rivers

وهي الانهار التي تقطع مجراها خلال منطقة تعرضت للارتفاع الطبوغرافي والتسمية هنا أتت من كون النهر قد اقتحم الارتفاع الجديد الذي حدث في قاع المجرى ،وان وجود المجرى النهري في المنطقة قد سبق حادثة النهوض التكتونية .

٤- انهار القسر او الانهار المنطبعة Superimposed rivers

وهي الانهار التي تجري في البداية في تكوينات صخرية على السطح ثم تشق مجراها نحو تكوينات اخرى ،اقدم منها تقع اسفلها فتنطبع بكل تفاصيلها على التكوينات القديمة التي تختلف عن التكوينات الصخرية الاولى في البنية والتركيب .

١-٤-٣- الفعل الجيولوجي للانهار :

عندما تسقط مياه الامطار او تذوب الثلوج في ... ن المناطق المرتفعة ،فان مياهها تنحدر مكونة لمسيلات غير محــــدودة الجوانب . ويتفق اتجاهها مع الانحدار العام لسطح المنطقة. وتتجمع هذه المسيلات في مجاري مائية محدودة الجوانب صغيرة الحجم ،ثــــم تتلاقى هذه المجاري الصغيرة مكونة مجاري اخرى اكبر فأكبر حتـــى تتشكل في النهاية مجاري رئيسية تصب في نهاية المطاف في البحيـرات والبحار والمحيطات وغيرها من الاماكن المنخفضة. ويلتقي بالنهـــر اثناء جريانه من منبعه الى مصبه عدد من الانهار الصغيرة تدعـــى بالروافد . وينشأ في النهاية شبكة هيدروغرافية تشغل مساحة تجمع للمياه تسمى بالحوض النهري الذي تحيط به فواصل مائية تفصله عـــن الاحواض الاخرى المجاورة.

واثناء جريان المياه في النهر فانها تقوم بوظائفها الثلاثة الحت والنقل والترسيب .

١-٤-٣-١- الحت النهري :

يبدأ العمل الحتي للانهار منذ اللحظات الاولى لتشكلهـــــا فالنهر الجديد المتشكل يحاول ان يبعد بواسطة تياره المائي كــــل انواع العوائق التي تعترض مسيره كالمرتفعات او النتـــــوءات الصخرية البارزة او الجروف الصخرية الساقطة في مجراه. ويستمــر على طول مجراه في حت وجرف الصخور المحيطة بهذا المجرى .

آ- عوامل الحت النهري ومظاهره :

يرتبط العمل الحتي للانهار بالعوامل التالية :

١- قوة تحرك المياه في المجاري النهرية. فالمياه المتدفقة لها مقدرة على اكتساح المواد المفككة التي تصادفها في طريقها ، كما تدخل في الشقوق وتتماوج فيها فتساعد بذلك على تحطيم الصخور الصلبة. وتختلف سرعة المياه في المكان الواحد من النهر باختلاف العمق فهي تتناقص تدريجيا مع ازدياد العمق وبالتالي تكون مقدرة الماء على حمل المواد المفتتة على السطح اكبر منها بالقرب من القاع .

٢- المواد الصلبة التي تحملها الانهار ،فهي تحتك ببعضها البعض كما تحتك بالقاع والجوانب وينجم عن ذلك تحطيمها وتفتيتها الى جزيئات اصغر مما يسهل على النهر حملها ونقلها. كما تتآكل الصخور في قاع المجرى المائي وفي جوانبه مما يؤدي الى اتساع المجرى وتعميقه.

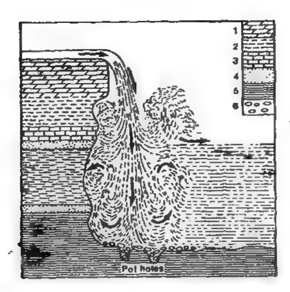
٣- الاذابة والتحلل : وذلك بفعل الغازات والمواد المذابة التي تحتويها مياه الانهار حيث تستطيع هذه الغازات ان تذيب بعض انواع الصخور التي يتألف منها سطح الارض ،وتعد الصخور الكلسية اكثر الصخور قابلية للذوبان . لهذا يلاحظ بأنّ الاودية التي تكونها الانهار في تلك المناطق اضخم منها في الاراضي ذات الصخور الاندفاعية. كذلك تعمل مياه الانهار على تفكك وتحلل الصخور غير القابلة للذوبان ، اذ لا يذوب

الصخر كليا في هذه الحالة وانما تحل المياه بعض العناصر
التي تدخل في تركيبه مما يوءدي الى انحلاله وفقدانه تماسكه

ع- ميل مجرى النهر: فيشتد الحت النهري في المناطق الجبلية حيث يصل ميل او انحدار النهر الى ١٠٠ متر او اكثر، اما في الانهار ذات الانحدار الضعيف فتكون الاعمال الحتية ضعيفة .

ان عدم التجانس في تركيب الصخور التي يمر عبرها النهر يوءدي الى عدم التجانس في مجرى النهر. فعندما يندفع الماء فوق جروف مكونة من طبقات قاسية تتخلل طبقات اقل قساوة في مجاري الانهار تتشكل الشلالات النهرية. وافضل الظروف لتشكل مثل هذه الشلالات تتهيأ عندما توجد طبقة قاسية تعلو طبقة رخوة. فالمياه تنحت في الطبقات الرخوة اكثر مما تنحت في الطبقات الصلبة فتتراجع الطبقات الرخوة الى الخلف وتبقى الطبقة العليا القاسية بارزة، فيندفع الماء منحدرا من فوقها رأسيا مكونا مسقط مياه (شلال) (شكل ١-١٦).

ومثال ذلك شلالات نياجارا بامريكا الشمالية، اذ يسقط الماء من ارتفاع ٥٠ متر من فوق صخور دولوميتية تعلو احجارا رملية. وتتكرر عملية حت الطبقات السفلى وسقوط اجزاء من الطبقات العليا الصلبة باستمرار، لهذا نجد بأن الشلالات تتراجع دائما نحو المنبع. فقد تراجعت شلالات نياجارا بين عامي ١٨٤٢-١٩٠٠ ،بمعدل ٢ر١-٦٤ر١ متر في العام . ان المياه الساقطة من ارتفاعات عالية والحاملة لكميات من الجلاميد والحصى والقطع الصخرية المختلفة تستطيع ان



الشكل (١-١٦) مقطع في شلالات نياجارا يوضح العمل الحتي لها وتراجعها

١- دولوميت ٢- غضار ٣- حجر كلسي

٤- رمال واحجار رملية ٥- غضار صفحي

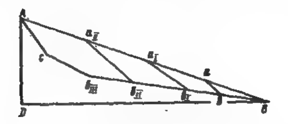
٦- بقايا وحطام الصخور الاساسية.

تحت وتحطم بقوة قاع النهر لتشكل حفرا وفجوات يصل عمقها احيانا الى ٣٠-٥٠ مترا.

وبشكل عام يتميز الحت النهري بمظهرين اساسيين مرتبطين ببعضهما البعض هما الحت الشاقولي والحت الجانبي.

ان تعميق مجرى النهر او الحت الشاقولي يستمر طالما لم يتحقق المقطع الاتزاني للنهر. ويبدأ النهر في تحقيق مقطعه الاتزاني عن طريق تعميق مجراه ابتداء من المصب، اذ يكون الحت قرب النبع قليلا بسبب صغر كمية المياه والحمولة. فالجزء الاكثر حتا لا يعتبر ثابتا بل بالتدريج ينتقل من المصب باتجاه المنبع.

فالخط AB على الشكل (١-١٧) يلاحظ عليه النقطة a وهي مكان سقوط



الشكل (١-١٧) مخطط الحت الشاقولي التدريجي للنهر وتحقيق المقطع الاتزاني للنهر .

اكثر الروافد ضخامة، a_1ـ مكان سقوط التيارات المائية الوسطى ، a_{11}ـ مكان اتحاد التيارات المائية الاولية الضعيفة.

فعلى الجزء aB تكون كمية المياه اكبر ما يمكن فالحت يبدأ على هذا الجزء ومجرى النهر يأخذ الشكل (aBB) . وتسبب زيادة الميل او الانحدار على الجزء aB زيادة سرعة الجريان وتقوية الحت فوق النقطة a ،ويأخذ عندها مجرى النهر الشكل(a_1B_1B) . وفي النهاية يأخذ مجرى النهر الوضع التالي ($AC\ B_{111}B_{11}\ B_1\ B$) . فالجزء AC يمثل لنفسه خزان مائي متدرج ،اما الجزء CB فيمثل التيار المائي مع جريان ثابت .

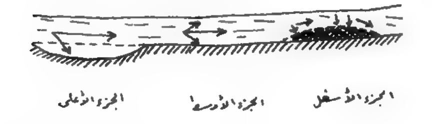
ويستمر تعميق مجرى النهر (الحت الشاقولي) حتى حد معين، وفي اعلى المصب يستمر الحت طالما قوة المياه اكبر من تلك التي تتطلبها الحركة. ومع انخفاض مجرى النهر تتناقص سرعة حركة المياه اي تضعف قوتها. وعندما يحصل التوازن بين قوة المياه وحمولتها يتوقف الحت الشاقولي تماما ولا يتم اي تعميق لمجرى النهر.

ان الانهار تجري عادة فوق نطاقات صخرية تتفاوت في طبيعتهــا وتركيبها ، وبالتالي تتباين قدرة النهر على حت هذه الطبقـــات . ومن الممكن ان تظهر وتبرز طبقة صخرية مقاومة عبر الوادي تسبقهــا (اعلى منسوبا) وتلحقها (ادنى منسوبا) طبقات اخرى لينة ،فتتفـــاوت تبعا لذلك عمليات الحت النهري وتنشأ الشلالات المائية كما ذكرنـــا اعلاه .

وتترافق عملية الحت الشاقولي لمياه النهر مع عملية حـــت جانبي ،ففي الاجزاء السفلى والوسطى من النهر تخف سرعة الجريـــان وبالتالي يخف الحت الشاقولي ويسيطر الحت الجانبي الذي يـــؤدي الى تحطيم جوانب النهر وتوسيع المجرى المائي ،اذ تقوم الميـــاه بما تحمله من مواد صخرية مختلفة بحت الصخور المكونة لجانبي مجرى النهر. وتكون شدة الحت الجانبي للمياه اعظمية في النقاط السفلية من جانبي مجرى النهر،اي النقاط القريبة من قاع النهر وتتشكل فـي تلك المناطق حفـر لا تلبث ان تتسع ويزداد حجمها حتى تفقد الاجـــزاء العلوية من صخور جانبي وادي النهر نقاط استنادها فتنهار ويتســع بالتالي مجرى النهر وتساعد التعرجات والمنعطفات النهرية كثيـــرا مياه الانهار في عمليات الحت الجانبي . فالتيار المائي يندفـــع بكامل قوته نحو نقاط معينة من جوانب النهر فينتج عن قوة اصطدامـه بهذه النقاط حت جوانب الوادي في الاماكن المقعرة وتراكم الرسوبـات في الجوانب المواجهة لمناطق الحت اي في الجهة المحدبة حيث يهـدأ النهر وبالتالي لا تقوى المياه على حمل ما فيها من مواد ويكـــون نتيجة هذا الفعل المضاعف اتساع عرض الوادي وتحوله الـــى ارض منبسطة عظيمة المساحة تعرف بالسهل الفحلي . اما بالنسبة الـــى

ادنى مستوى تصل اليه عملية الحت الشاقولي فيسمى بمستوى القاعدة للمجرى المائي • وتعتبر مياه البحار والمحيطات مستوى قاعـــــدة نهائي لجميع الانهار التي تصب فيها ،اذ ان مياه اي نهر من انهـــار العالم عندما تصب في البحر تكون سرعتها منخفضة جدا لا تقوى علـى القيام بأي عمل من اعمال الحت والحفر في حين ان مستوى الاســـاس لروافد الانهار هو المستوي الذي تقع فيه نقاط التقائها به •

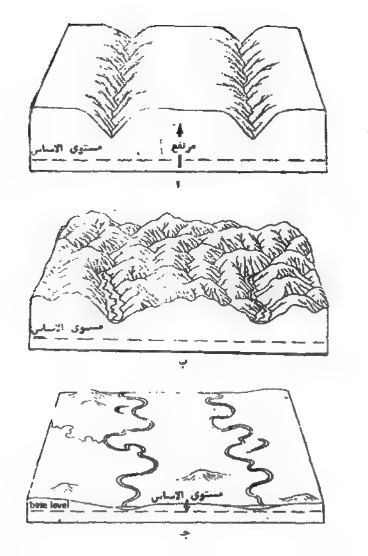
واخيرا لا بد من الاشارة الى ان مقطع الاتزان الطولي للنهـر يتغير باستمرار وذلك تبعا لعوامل كثيرة منها تغيرات المناخ التي تؤدي بدورها الى تغير غزارة النهر ،وارتفاع مستوى الاســـاس او هبوطه • ونميز بشكل عام في الانهار الناضجة ثلاثة اقسام : قسم علوي يسيطر فيه الحت وقسم اوسط تسيطر فيه عمليات النقل وقسم سفلي قريب من المصب تنشط في اعمال الترسيب • الشكل (١-١٨) •



الشكل (١-١٨) الفعل الجيولوجي للانهار حيث يشير السهـم الى اتجاه الجرف وتوضع الرواسب النهرية •

ب – مراحل تطور الانهار والدورة الحتية :

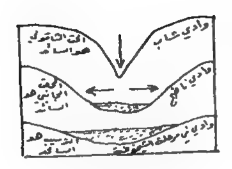
تضم الدورة الحتية للانهار ثلاث مراحل اساسية هـي مرحلـة الشباب ومرحلة النضج ومرحلة الشيخوخة • الشكل (١-١٩) •

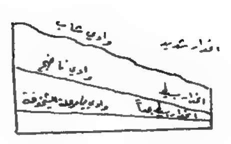


الشكل (١-١٩) مراحل تطـــور الانهــــــــار
آ- مرحلة الشباب ، ب - مرحلة النضج جـ مرحلة الشيخوخة

مرحلة الشباب :

تبدأ الدورة الحتية بهذه المرحلة حيث يكون النهر خلالهـــا قويا ،تتدفق مياهه بسرعة في مجرى مائي عميق ذي جوانـــب شديدة الانحدار له شكل حرف (V) ، الشكل (١-٢٠)





مقاطع عرضيـــــة　　　　　　　　مقاطع طولية

الشكل (١-٢٠) مراحل تطور حياة النهر .

وينشط في هذه المرحلة بشكل خاص الحت الشاقولي ،وتمتاز هذه المرحلة اضافة الى ما تقدم بوجود بعض المظاهر الاخرى فـــــي مجرى النهر واهمها:

- الحفر الوعائية　Potholes

وهي عبارة عن حفر عميقة مستديرة الشكل توجد في قاع النهـــر وهي تتشكل نتيجة تحرك الكتل الصخرية على القاع حركـــــة دائرية متأثرة بقوة الدوامات المائية التي يكونها تيـــار النهر مما يؤدي الى تآكل قاع النهر وتكوين هذه الحفر.

- الشلالات المائية

وذلك عندما ينحدر مجرى النهر من جهة مرتفعة الى اخـــــرى منخفضة، او عندما تعترض طبقة صخرية صلبة مقاومة للتعريـــــة لمجرى النهر وكانت الطبقات الصخرية التي تقع اسفلها وحولها

رخوة واقل مقاومة للتعرية وقدتم توضيح ذلك سابقا.

٢- مرحلة النضج :

تلي هذه المرحلة مرحلةشباب النهر وتسمى مرحلة البلوغ او الاتزان لان النهر في هذه المرحلة يكون قد اقترب من تحقيق مقطعه الاتزاني الطولي . واهم مميزات الوادي النهري في هذه المرحلة انه يصبح اكثر اتساعا نظرا لزيادة فعالية الحت الجانبي بالمقارنة مع مرحلة الشباب بينما يضعف الحت الشاقولي نتيجة لقلة انحدار النهر وهذا يؤدي بدوره الى تناقص سرعة التيار عنها في مرحلة الشباب . الشكل (١-٢٠) وبشكل عام يمتاز النهر في هذه المرحلة بالصفات التالية:

- ندرة او اختفاء الشلالات المائية.
- حادثة الاسر النهري River capture

وتعرف هذه الظاهرة باسم قرصنة الانهار،فالاحواض النهرية المتجاورة تتأثر ببعضها كثيرا ويحاول النهر ذو الشروط الملائمة للحت السريع (كالغزارة العالية والمجرى الشديد الانحدار والصخور اللينة الضعيفة المقاومة للحت) التوسع على حساب الانهار المجاورة وبمرور الزمن يصبح هذا النهر هو السائد في المنطقة ويسمى بالنهر الغازي . اما الوديان التي هجرتها الانهار فتسمى بالوديان الميته التي تكون عادة مغطاة بالترسبات ذات المنشأ النهري والتي لا يمكن تفسيرها الا بافتراض وجودمجاري مائية كانت تسير فيها فيما مضى .

تكوين الجزر في مجرى النهر: وذلك بسبب زيادة كمية المواد المنقولة في النهر نسبة الى قابليته في النقل مما يؤدي الى ترسب بعض المواد المنقولة في قاعه مكونة جزيرة في مجرى النهر وهذا يؤدي الى انقسام مجرى النهر الاصلي الى عدة فروع لتلتقي ثانية في مجرى واحد.

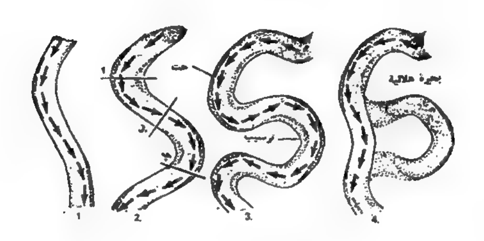
٣- مرحلة الشيخوخة :

يضعف الفعل الحتي للنهر كثيرا في هذه المرحلة او يكاد ينعدم حيث يخف انحدار وميل مجرى النهر الى حد كبير،فيما ينشط في المقابل الفعل الترسيبي له. والنهر في هذه المرحلة يكون قد حقق مقطعه الاتزاني تقريبا وصار جريانه مستقرا ومتزنا. واهم الظواهر التي يتسم بها النهر في هذه المرحلة والتي نجدها في الاجزاء السفلى منه هي :

- المنعطفات النهرية :

عندما يبلغ النهر مرحلة الشيخوخة تنخفض سرعة التيار فيه الى درجة كبيرة وعند وجود اقل العوائق واضعفها يؤثر على اتجاهه فيضطر الى الالتفاف حول هذه العوائق واتخاذ مجرى متدرج. فعندما يرتطم التيار اثناء سيره نحو المصب بأحد الجوانب المحدبة عند مدخل احدى هذه التعرجات يرتد نحو الجانب المقعر فيه ثم يتجه بعد ذلك الى الجانب الاخر في طريقه الى ناحية المصب ،اما الجانب المحدب فتقل عنده سرعة التيار مما يؤدي الى الترسيب ، فيزداد تحدبه الى الداخل ومع تكرار هذه العملية تزداد الجوانب المقعرة تقعرا والجوانب

المحدبة تحدبا مما يؤدي الى تكون سلسلة من الانحناءات الواضحة تسمى بالمنعطفات النهرية . شكل (١-٢١).



الشكل (١-٢١)

يوضح تشكل المنعطفات النهرية والبحيرات الهلالية

آوب وج مقاطع مختلفة في مجرى النهر.

- البحيرات الهلالية او المقتطعة :

وتتشكل نتيجة التراب اطراف المنعطفات النهرية من بعضها البعض حتى تتصل هذه الاطراف في النهاية ويبدل النهر بالتالي مجراه القديم. وبانسداد طريق المجرى القديم تتكون البحيرة الهلالية او المقتطعة لانها انقطعت من مجرى النهر .

واخيرا تجدر الاشارة الى انه من الممكن ان تتمثل في أي نهر جميع المراحل الثلاث : فتصادف مرحلة الشباب في مجرى النهر الاعلى في الجبال ومرحلة النضج في مجراه الاوسط

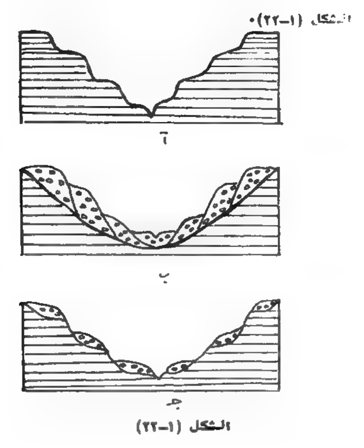
ومرحلة الشيخوخة حين يجري النهر بطيئا عبر سهل منبسط باتجاه البحر .

جـ تشكل المصاطب النهرية :

تتشكل المصاطب النهرية نتيجة تعاقب مراحل الحت والترسيب وتعتبر كل مصطبة نهرية شاهد على دورة حتية للنهر،فانخفاض مستوى الاساس او ارتفاع منبع النهر او ازدياد طاقة المياه الجارية كلها من الاسباب الرئيسية لانتهاء دورة حتية وبدء دورة اخرى جديدةونشاطة . وبالتالي يمكن معرفة عدد الدورات الحتية للنهر من خلال عدد المصاطب المجاورة لهذا النهر.

فحينما يجدد النهر حته الشاقولي فانه يهبط بمجراه في السهل اللحقي الذي سبق له تشكيله ، تاركا ذلك السهل بارزا فوق مستوى ضفتي مجراه ، وتبعا لذلك يظهر هذا السهل على شكل مصطبتين تحازيان كلا جانبيه ، ثم ينشط في مرحلة ثانية الحت الجانبي وتتكون المنعطفات النهرية وهذا يودي بدوره الى توسيع المجرى النهري على حساب الضفتين المتشكلتين. ويتشكل سهل لحقي جديد يقع دون المصطبتين السابقتين ثم يتجدد شباب النهر من جديد وتتكرر نفس العمليات الآنفة الذكر فينشأ زوج اخر من المصاطب النهرية ادنى منسوبا من الزوج الاول ،وهكذا باستمرار وتعتبر المصطبة الاقرب الى ماء النهر هي الاحدث وتكون اخفض المصاطب ارتفاعا وتدعى بالمصطبة الاولى وتعلوها المصاطب الاقدم بالترتيب . وتدعى اقرب المصاطب الى النهر والتي ترتفع قليلا جدا عن مستوى

الماء ويكون سطحها مستورا بالمراعي او الاشجار بالارض الغمرية الشكل (١–٢٢)٠



الشكل (١–٢٢)

يوضح بعض انواع المصاطب النهرية ٠

آ ـ مصاطب حتية   ب ـ مصاطب لحقية   جـ مصاطب حتية ـ لحقية ٠

وتميز عدة انواع من المصاطب النهرية وذلك وفقا للمرحلة التي ينهي فيها النهر دورته الحتية ، ويبدأ دورة حتية جديدة ٠

فاذا ما انتهى النهر من دورته الحتية ويدأ دورة حتية جديدة في مرحلة الشباب حيث يغلب عليه الفعل الحتي بينما الترسيب يكون ضعيفا او معدوما تتشكل المصاطب الحتية شكل (١–٢٢)

اما اذا ما انهى النهر دورته الحتية في مرحلة الشيخوخة وبدأ دورته الحتية الثانية في نهاية هذه المرحلة فتتشكل المصاطب المليئة والمغطاة بالرسوبيات اللحقية والتي تسمى بالمصاطب اللحقية، وهناك انواع عديدة من المصاطب الحتية واللحقية، او الحتية - اللحقية، او اللحقية - الحتية وذلك حسب الدورة الحتية للنهر .

١-٤-٣-٢- النقل النهري :

تلعب الانهار دورا كبيرا واساسيا في نقل وتوزيع المواد الرسوبية على سطح الارض، ويتم نقل الجزء الاعظم من المواد الرسوبية الى البحار والمحيطات، وتتألف حمولة النهر بشكل اساسي من المواد التي فتتتها التجوية او حملتها اليه روافده او مياه الجليد الذائبة بالاضافة الى الرواسب التي حتها النهر ذاته، وهذه المواد تنتقل بطرائق مختلفة معتمدة على كثافتها وحجمها، وبشكل عام ينقل النهر هذه المواد باشكال ثلاث :

١- مواد ذائبة :وتشمل هذه الطريقة في النقل المواد او الاملاح القابلة للذوبان في الماء كالهاليدات والكبريتات والكربونات وتحمل الانهار الى مصباتها مقدارا هائلا من تلك المواد، فقد قدر ما يحمله نهر المسيسبي منها سنويا بنحو ١٢٦ مليون طن .

٢- مواد عالقة: وهي عبارة عن حبيبات غبارية ورملية ناعمة تقل اقطارها عن ٠،٥ مم.

٣- مواد مجروفة على القاع : وهي عبارة عن رمال وحصى وكتل

صخرية مختلفة الحجوم تتحرك هذه المواد بقوة دفع التيـــار عن طريق القفز(Saltation) في حالة الكتل الصخريـــة مختلفة الحجوم حيث تلمس المواد قاع النهر على فتـــرات ، او تتم الحركة عن طريق التدحرج(Rolling) حيث تتدحـــرج الحصى على القاع بقوة الجاذبية ودفع الماء. وتسمى حمولـة النهر من هذه المواد التي تتحرك على امتداد القـاع ســوا' بالقفز او بالتدحرج بحمولة القاع. وهنالا بد من الاشـــارة الى ان الفلزات والقطع الصخرية ذات القساوة الضعيفـــة لا تلبث اثناء نقلها بمياه النهر من ان تتحول الى مسحـــوق، اما الاجزاء الصلبة منها فتتعرض لعملية صقل وازالة اطرافها الحادة. وهكذا تتحول الجلاميد والقطع الصخرية في عمليـــة نقلها بمياه النهر الى حصى وجلاميد ناعمة الملمس ومستديرة. هذا ويطلق على النوعين الاخيرين اسم الحمولة الصلبة. ان كمية المواد الحطامية المنقولة بواسطة الانهار اكبر بكثير من كمية المواد المنقولة بشكل محاليل . ويسمى المزيج مـن المواد الفلزيةوالعضوية المحمولة بواسطة الانهار علـــى شكل جزيئات صلبة ، غضار،حصى ورمل ، او محاليل باسم الجريان الصلب . وقد احصيت كمية هذا الجريان في بعض الانهار فتبين انها تبلغ في بعض الانهار على سبيل المثال القيم التاليـة مقدرةبالمليون طن نهر الفولغا ١٤ ، نهر النيل ١٢٥،المسيسبي ٤٠٠. وعموما يقدر العلماء ان المياه الجارية السطحيـــة تكسح كل عام نحو ٥٠ طن من المواد الذائبة و ٣٠٠ طن مـن المواد الصلبة من كل ميل مربع واحد من سطح الارض.

ان حجم المواد الرسوبية الحطامية المنقولة بمياه الانهار يتناسب تناسبا طرديا مع سرعة جريان المياه وحجمها حيث تبين ان قطر جزيئات المواد الحطامية المنقولة يزداد كلما ازدادت كمية وسرعة جريان مياه الانهار.

١-٤-٣-٣- الترسيب النهري وتشكل الدلتات :

تدعى الرسوبات التي يوضعها النهر في مجراه او في مصبه باللحقيات النهرية. فالمواد المحمولة بواسطة الانهار يترسب جزء بسيط منها في اي مكان من المجرى النهري عندما تتهيأ الظروف المناسبة، اما الجزء الاكبر فتحمله مياه النهر الى البحر او المحيط ليترسب هناك. واهم الظروف الملائمة للترسيب النهري هي نقصان حجم مياه النهر او سرعة جريانه. ويقل حجم مياه النهر في الحالات التالية.

١- عبور النهر لمناطق جافة فتتعرض مياهه للتبخر الشديد.

٢- مرور النهر على مساحات واسعة من الصخور المسامية كالصخور الرملية فيتسرب قسم كبير من مياهه عبر مسام هذه الصخور.

٣- حلول فصل الجفاف يؤدي كذلك الى نقصان حجم تغذية النهر.

اما العوامل التي تؤدي كذلك الى تناقص سرعة الجريان النهري فهي :

١- اتساع المجرى المائي .

٢- وجود كتل صخرية ضخمة او سدود او تراكيب جيولوجية بارزة تعيق حركة المياه الجارية.

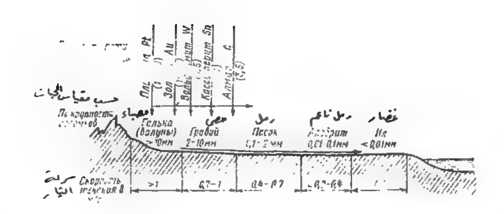
٣ـ ضعف انحدار المجرى المائي ٠

٤ـ عندما ينتهي النهر الى مصبه في بحيرة او بحر او محيط ٠

وتبدأ عملية ترسيب التوضعات النهرية في مرحلة النضـــوج بالنسبة للدورة الحتية للنهر ٠ وتبلغ حدها الاعظمي في مرحلـــة الشيخوخة٠ وتتألف الرسوبات النهرية في الانهار الجبلية بشكل اساسي من الحصى والرمل والغضار وتتناسب درجة صقل واستدارة المـــواد الحطامية المنقولة مع طول مسافة نقلها٠ وكثيرا ما تلاحظ فـــي التوضعات النهرية ظاهرة التطبق التي تتعلق بشكل مباشر بتغيـــر نظام الجريان النهري فيلاحظ مثلا تناوب طبقات الغضار مع الطبقـــات الرملية الخشنة والناعمة ويكون هذا التطبق افقيا او مائلا وتبلـــغ سماكة اللحقيات النهرية لعدد كبير من الانهار عشرات الامتـــار٠ وتترسب في البداية المواد الغليظة كالحصى وفي مرحلة اخرى مـــن مراحل الترسيب تتوضع المواد الدقيقة ثم الادق ٠ وكما تلاحظ هـــذه التغيرات الشاقولية في مقطع الرسوبات النهرية تلاحظ ايضا تغيرات افقية لهذه المحنة موضحة في الشكل (١ـ٢٢)٠

حيث نلاحظ من الشكل انه تم فرز المواد الرسوبية افقيـــا فتتوضع في البداية الاجزاء الكبيرة كالحصى والحصباء والفلـــزات الثقيلة كالبلاتين والذهب ثم تتوضع الرمال واخيرا الغضاريات ٠

وكما ذكرنا سابقا فان كميات كبيرة من حمولة النهر تبقـــى محمولة في مياهه لتترسب في مصبات الانهار عند نقطة التقاء مياه النهر بمياه البحر او المحيط وتشكل ما يسمى بمخروط التجمع ،وهو ذو شكل مثلثـــي



الشكل (١-٢٢)

مخطط التغيرات الافقية في سحنة التوضعات الرسوبيـــــة النهريـــــة

نتجه ذروته نحو النهر ويمتد هذا المخروط تدريجيا مع مرور الزمـــن باتجاه البحر ويشكل في النهاية سهلا لحقيا يطلق عليه اسم دلتـــا . وقد اطلق الاغريق هذه التسمية لاول مرة على دلتا نهر النيـــل لان شكلها يشبه الحرف اليوناني (Δ- دلتا) ولتشكل الدلتات النهريـــة لا بد من توفر شروط اساسية اهمها:

١- ان تكون حمولة النهر كبيرة ،وهذا يعني ان تكون التعريـــة النهرية نشطة وقوية في مجرى النهر الاعلى .

٢- ان يكون الجزء الادنى من النهر في مرحلة الشيخوخة حتـــى يستطيع ان يرسب حمولته عند المصب .

٣- ان تخلو منطقة المصب من وجود تيارات بحرية او امـــواج

مائية او حركات المد والجزر .

د- ان تكون منطقة المصب ضحلة غير عميقة .

هـ- ان يكون الوضع التكتوني في منطقة المصب هادئا .

وتعد الدلتا صفة مميزة لعدد كبير من الانهار حيث تبلغ مساحة دلتات بعض الانهار الكبيرة آلاف الكيلومترات المربعة فمساحة دلتا نهر الفانج على سبيل المثال تبلغ ٥٠٠٠ر٠٠٠كم٢ ونهر المسيسبي ١٥٠ر٠٠٠كم٢ ونهر النيل ٢٥ر٠٠٠ كم٢ ، وبالمقابل هناك كثير من الانهار ليس لها دلتا وذلك لعدم توفر شروط تشكل الدلتا كنهر الامازون الذي يعد من اكبر انهار العالم . كذلك يتفرع النهر في السهل اللحقي المكون للدلتا الى فروع عديدة فنهر النيل مثلا يتفرع الى فرعين اساسيين هما دمياط والرشيد .

واخيرا فان نمو الدلتات واتساع رقعتها يتم على حساب البحر كل عام وهي تختلف في درجة نموها من نهر لآخر فمثلا دلتا نهر المسيسبي تتقدم في خليج المكسيك بمعدل ٧٦ متر كل سنة ،بينما تنمو دلتا نهر البو في البحر الادرياتي بمعدل ١٢ متر في السنة ،اما دلتا نهر النيل فقد توقف نموها تقريبا بسبب انشاء السد العالي .

ا-٤-ـ الاهمية الجيولوجية والاقتصادية للانهار :

تعتبر المياه الجارية السطحية من اهم العوامل الجيولوجية الخارجية التي تلعب دورا كبيرا في تغيير وتشكيل معالم سطح الارض وكذلك في تشكيل الصخور الرسوبية ومكامن التوضعات الاقتصادية المفيدة. فالانهار الدائمة الجريان او المؤقتة تشكل في السهول

شبكة كثيفة من الاودية والمجاري النهرية . اما في المناطق الجبليـة فتعمل المياه الجارية السطحية على ازالة الجروف الصخرية مـــن طريقها وتحول المرتفعات الصخرية المرتفعة تدرجيا الى هضاب وتلال قليلة الارتفاع . وفي النهاية تتشكل السهول اللحقية التي تحل محـل التضاريس الصخرية القاسية كما هو الحال في جمهورية كازاخستان .

ان الاعمال الحتية للانهار تعمل على تخفيض سطح اليابســة سنويا ، وتبلغ سرعة الانخفاض هذه في المناطق السهلية بحدود ۰٫۱۰۰مم/سنة ،بينما تبلغ في المناطق الجبلية ۰٫۱مم /سنة كذلك تشكل نواتـج حت الصخور التي ترسبها الانهار المادة الاولية لتشكل صخور رسوبيـة مثل الصخور الفضارية والرمال والحصى وغيرها .

وتتميز الرسوبات النهرية بأنها تحتوي على الكثير مـــن التوضعات الاقتصادية المفيدة مثل الذهب والبلاتين والالمـــاس والتيتانيوم والقصدير وغيره . وتسمى الرسوبات الغنية بالفلـزات والمعادن بالمكامن الرسوبية ، ويستخرج من هذه المكامن حوالي ٢٥ ٪ من الذهب المستخرج في العالم و ٩٥ ٪ من الماس افريقيا . وتصـادف ايضا في الرسوبات النهرية للدلتا كميات اقتصادية من النفـــط . فمعظم حقول بترول نيجيريا على سبل المثال تقع في رسوبات دلتـــا نهر النيجر كذلك تم اكتشاف حقول كبيرة من الغاز الطبيعي في دلتـا النيل بمصر . كما تمتاز الرسوبات النهرية في مناطق الدلتا بغناهـا بالمواد العضوية والاملاح الصالحة لغذاء النبات .

وتلعب مياه الانهار دورا مهما واساسيا في الاقتصاد الزراعي حيث تستخدم لارواء الاراضي الزراعية وتوليد الطاقة الكهربائيـة .

وخلال السنوات العشر الاخيرة تم انشاء عدد لا بأس به من السدود على الانهار الموجودة في قطرنا العربي السوري بغية تأمين الميـــــــاه اللازمة للري والشرب ولتوليد الطاقة الكهربائية.

١-٥- الفعل الجيولوجي للجليديات

١-٥-١- مقدمة عامة :

الجليديات هي عبارة عن كتل ضخمة من الجليد الطبيعي المتحرك والمتشكل على سطح الارض نتيجة التراكم المستمر للثلوج ،تغطـــي الجليديات مساحات تقارب ١١ ٪ من سطح اليابسة (٢ر١٦ مليون كـم^{2}) وحوالي ٥ر٩٨ ٪ من هذه المساحة تقع فــي منطقة القطب الجنوبيــة وغرينلاند وجزر المحيط المتجمد الشمالي ، وتنتشر فقط ٥ر١٪ علـــى الجبال العالية الحديثة التكوين التي تشكلت عقب الحركات التكتونية الألبية كجبال الالب وهيمالايا والقفقاز . وقد غطيت في عصور جليدية ماضية مساحات اوسع من اليابسة بالجليد وحصلت اثناء ذلك تغيـــرات كبيرة لسطحها ونوعيات رسوبياتها . وكان آخر عصر زحفت فيه الجليديات على اليابسة هو البلايستوسين الذي بدأ قبل مليوني عام وانتهى قبل ١٥٠٠٠ سنة فقط، غير ان الكساء الجليدي لم يستمر على المساحـــات المغطاة ذاتها طوال هذه المدة الزمنية لان برودة المناخ لم تستمر بالشدة ذاتها . وقد تم تمييز اربعة اطوار جليدية رئيسية على اليابسة تخللتها ثلاثة اطوار رئيسية دافئة ،تسمى اطوار ما بين الجليديات . وحتى اثناء الاطوار الباردة كانت تحصل تذبذبات مناخية دافئة تستمر لفترات قصيرة من ٥٠٠٠ر١٠ الى ٥٠٠٠ر١٥ سنة . ولا يمكن التكهـــن الآن

اذا كان العصر الذي نعيش فيه يمثل طورا دافئا من اطوار ما بيـــن الجليديات وانه سيتغير بعد انتهائه الى طور جليدي خامس سيمــــــا وان مدته لم تتجاوز ١٥٠٠٠ سنة بعد .

ويسمى العلم الذي يدرس ظروف تشكل الجليديات وتوزعهـــــــا الجغرافي ونظامها ونشاطها الجيولوجي والاشكال التضاريسيـــــــة والتوضعات التي تنشأ عنها بعلم الجليديات (Glaciology).
ولا بد من الاشارة الى انه ليس للثلج او الجليد عموما في قطرنـــــا العربي السوري اي اثر جيولوجي ملحوظ في تشكل سطح الارض . لكن يجدر بنا ان نقدم نبذة مختصرة عن الفعل الجيولوجي للجليديات لانه مـــن الضروري ان يكون الجيولوجي ملما الماما كاملا بكل العوامـــــــل الجيولوجية التي تؤثر على كوكبنا الارضي ، وان لا تقتصر معلوماتـه على مجموعة دون الاخرى ، وسوف نتناول في الفقرات اللاحقة منشـــــأ الجليديات ونظامها وانواعها ومن ثم الفعل الجيولوجي لها واهميتها المناخية والجيولوجيـــة.

١ـ٢ـ منشأ الجليديات ونظامها :

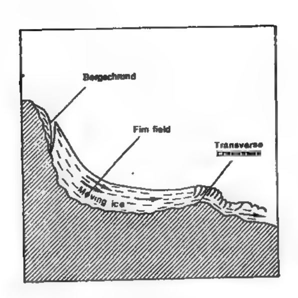
لنشوء الجليديات لا بد من توفر شرطين اساسيين همـــــــا : درجة حرارة منخفضة ،وتهطال ثلجي غزير. ففي ظروف المناخ البــــارد يحدث تراكم تدريجي للغطاء الثلجي ،بحيث ان كمية الساقط الثلجـي في تلك الاقاليم تتفوق على كمية القسم الذائب من الثلوج في الفصـول الدافئة ،ويجب ان تصبح تراكمات الثلج سميكة بما يكفي لان تتبلـــور الى جليد. وتعتمد عملية التبلور على ضغط الثلج بعضه على بعـــض

وهذا يحول الثلج الخفيف القابل للرص الى ثلج حبيبي ، ثم يتحول بعد ذلك بذوبانه واعادة تجمده المتكرر الى جليد حبيبي (Firn) واثناء هذا التحول يتم تقلص حجم وسماكة الطبقات الثلجية الاولية. فمثلا لتشكل (١م^{3}) من الجليد يلزم حوالي (١١م^{3}) من الثلج وتسمى المنطقة التي يتم فيها تحول الثلج الى جليد بمنطقة التغذية.

ويسمى الحد الفاصل بين مناطق وجود الثلج بشكل دائم والمناطق التي تذوب فيها الثلوج في الفصول الحارة بخط الثلج الدائم. ويتباين ارتفاع الخط الثلجي وفقا لخط العرض من منطقة لاخرى . ففي المناطق القطبية يتطابق هذا الخط مع مستوى سطح البحر ويزداد الارتفاع عن سطح البحر كلما ابتعدنا عن هذه المناطق واقتربنا من خط الاستواء.ويترافق ارتفاع هذا الخط في الجبال العالية لشرق افريقيا من ٥-٦ كم عن سطح البحر .

١-٥-٣- حركة الجليديات :

ان الطبقات الجليدية الكثيفة المتشكلة تستطيع بتأثير الجاذبية ، وتحت تأثير حجمها الهائل وتباين الضغط بين مختلف جوانبها ان تزحف ببطء الى خارج حدود اماكن تجمعها باتجاه المناطق الاقل ارتفاعا على شكل انهار جليدية صلبة (السنة جليدية) شكل (١-٢٤).



الشكـــــــل (١-٢٤)

رسم تخطيطي يوضح الهوة الجليدية وتشكل الشقــــــوق العرضيـــــة علـــــى سطـــح الجليديـــــــة

وتتعلق سرعة حركة الجليديات بكتلتها ، فكلما كانت كتلتهـــا كبيرة كلما كانت سرعة حركتها اكبر. فمثلا جليديات غرينلانــــــــــد التي تملك كتلا ضخمة تتحرك بمعدل ٥-٢٠ متر /يوم ، اما جليديـــــات القارة القطبية الجنوبية فتتحرك بسرعة ٤٠متر /يوم، وهذه الحركـة غير ثابتة خلال العام بل تتغير بشكل دوري حسب فصول السنة فهـــي تزداد في الفصول الحارة لان ارتفاع درجة الحرارة يصهر الجليـــــد الذي يجري على الجوانب فتسهل بذلك الحركةبتقليل الاحتكــــاك . كذلك كلما قلت المواد المنقولة بواسطة الجليديةقل احتكاكها بقـــاع الوادي واصبحت حركتها سهلة.

تسمى المنطقة التي تتم فيها حركة الجليديات بمنطقة الجريان ، فاذا كان لسان الجليدية المتحركة يقع تحت الحد الثلجي فان هذه الجليدية تبدأ بالذوبان وتشارك المياه المتحررة من الذوبان بتغذية مياه الانهار. اما اذا كانت كمية الجليد الذائب معادلة لكمية الجليد الاتي من منطقة التغذية فان حدود الجليدية تكون شبه مستقرة وعندها يكون وضع الجليد مستقرا. واذا لم تتمكن الجليدية من الذوبان وحدودها اتجهت اكثر فأكثر فان الجليدية في هذه الحالة تكون في حالة تقدم او طغيان. اما اذا تقلصت حدودها فانها تكون في حالة تقهقر او تراجع . وتنتج من حركة الجليديات مجموعة من المظاهر اهمها:

١- تشكل شبكة من الشقوق والتصدعات على سطحها، وهذه الشقوق تكون طولية او عرضية او قطرية وقد يصل عمق هذه الشقوق الى عشرات واحيانا مئات الامتار . وتنشأ هذه التشققات اثناء حركة الجليدية بتأثير عوامل كثيرة من اهمها عدم تجانس تضاريس الارض التي تسير فوقها الجليدية وتغيير سرعة حركتها. فالشقوق الطولية تنشأ عندما يتسع الوادي الجليدي فيتمدد جسم الجليدية ليملأ الفراغ الجديد المتشكل . كذلك فان ازدياد انحدار الارض يؤدي الى ازدياد سرعة الجليدية في جزئها الامامي في حين يحافظ جزئها الخلفي على سرعته الاولية ويؤدي اختلاف هذه السرعة الى تشكل الشقوق العرضية والقطرية على سطح الجليدية.

٢- الهوة الجليدية،وهي عبارة عن ثغرة تفصل بين حقل الجليد ولسان الجليدية الزاحفة وتمثل هذه الهوة عقبة امام هواة تسلق القمم الالبية.

٣- تقود حركة الجليدية الى ظواهرالحت والنقل والترسيب الجليدي التي سنبحثها لاحقا.

ا-هـ-٤- انواع الجليديات :

تقسم الجليديات وفقا لظروف تشكلها واشكالها وحجومها وعلاقتها بمنطقة التغذية وطبيعة جريانها الى الانواع التالية :

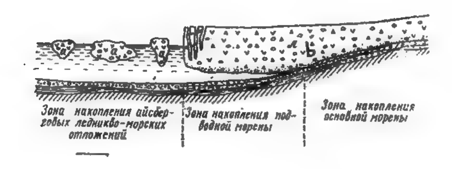
- الغطاءات الجليدية.
- الجليديات الجبلية.
- الجليديات البينية.

ا-هـ-٤-ا- الغطاءات الجليدية او الجليديات القارية :

كست هذه الغطاءات مساحات شاسعة من القارات ابان عصر البلايستوسين ويمثل هذه الغطاءات الضخمة في وقتنا الحاضر غطاءان يمتازان بسماكتهما الكبيرة وباختلاط مناطق التغذية والجريان هما: غطاء القارة القطبية الجنوبية (انتاركتيكا) وغطاء جزيرة غرينلاند .

آ ـ غطاء القارة القطبية الجنوبيـة:

تبلغ مساحة هذا الغطاء ٩ر١٣ مليون كم^2 وسماكته الوسطـى حوالي ٢٠٠٠ متر والعظمى ٤٣٢٥ متر ولقد بينت الدراسات الجيوفيزيائية ان قاع هذا الغطاء يتمتع بتضاريس معقدة وموظفة من سهول واوديـة وجبال مرتفعة من اعمار مختلفة، وقد تبرز في المناطق السهليـة فوق هذا الغطاء قمم جبلية ناتئة تعرف بالنواتئ (Nunataks) تفصلها من بعضها السنة جليدية ضخمة تنحدر نحو البحر وتنفصـل على شكل جبال جليدية شكل (١ـ٢٥) تشبه الجزر الكبيرة العائمـة. واكبر هذه الجبال الجليدية تمت مصادفته في المحيط الاطلسي بجـوار



الشكل رقـــم (١ـ٢٥)

مخطط تشكل الجبال الجليديـة العائمـة

a ـ الجبال الجليدية العائمة.

b ـ الجليديـة.

شواطئ غرينلاند حيث يبلغ طوله ٥٦٠ كم وارتفاعه فوق الماء ٨٧ متـر وتحت الماء ٥٠٠ متر. وتعمل التيارات البحرية على تحريك هـذا الجبال الجليدية نحو المناطق الاستوائية حيث تذوب هناك ببـطء.

وتستمر هذه الجبال حوالي عشر سنوات .

جرينلاند :

يغطي هذا الغطاء تقريبا مساحة الجزيرة بالكامل (٨٧ر١مليون كم٢). لا تظهر الارض اسفل هذا الغطاء الا عند السواحل بالاضافة الى بعض القمم المفردة البارزة فوق سطحه عند حوافه (Nunataks) . ويحد الغطاء الجليدي من جهة الغرب هامش صخري جبلي ويتميز الساحل هنا بكثرة فيورداته (الفيوردات عبارة عن اودية جبلية قديمة طغى عليها البحر). اما على طول الساحل الشرقي فيمتد الغطاء الجليدي على شكل السنة جليدية تنتشر على اليابسة وتصل الى البحر حيث تشكل جبالا جليدية ضخمة. تبلغ سماكة هذا الغطاء في الجزء المركزي منه ٣٤٠٨ متر وتقل هذه السماكة باتجاه الاطراف حيث يبدو الغطاء بشكل قبة لهذا تعرف احيانا الغطاءات الجليدية باسم القبعات الجليدية .

١-٥-٤-٢- الجليديات الجبلية :

وتسمى ايضا بالجليديات الالبية ، وهي تتصف بمقاييس صغيرة نسبيا بالمقارنة مع الغطاءات الجليدية. ففي شمال الاورال تنتشر حوالي ١٢٠ قطعة لا تشغل سوى ٧ كم٢ . تبلغ مساحة اكبر جليديات هذا النوع حوالي ١٠٠٠كم٢،وهذه الجليديات ذات اشكال معقدة ومتنوعة ، وفيها تكون منطقة التغذية منفصلة عن منطقة الجريان. وحسب شكل ونظام هذه الجليديات تقسم الى نوعين اساسيين هما :

- جليديات الحلبات ٠

- جليديات الوديان ٠

ا- جليديات الحلبات :

تتشكل جليديات الحلبات في الاجزاء العليا من المنحدرات الجبلية وتتميز بمقاسات صغيرة وسماكات ليست كبيرة٠ وهي تتصف بجدران شديدة الانحدار وبقاع مقعر ونادرا ما تنحدر منها السنة جليدية٠ وفي المنحدرات الجبلية الحادة يتعلق الجليد بالنتوءات والجروف الصخرية البارزة ويدعى هذا الجليد بالجليد المعلق٠ لكن هذا الجليد يتحطم بشكل دوري ويهبط نحو الاسفل حيث تشكل القطع الجليدية المتساقطة على السطح في الاسفل جليدية جديدة٠ وتنتشر جليديات الحلبات المعلقة في جبال ما وراء البايكال والاورال وشمال شرق سيبريا ٠

ب- جليديات الوديان :

وتنتشر في وديان الانهار الجبلية حيث تتراكم الثلوج في الوديان ٠ وينحدر عادة من منطقة التغذية الجليدية لسان جليدي او عدة السنة جليدية وكلما كانت التغذية كبيرة كلما كان طول اللسان اكبر واكبر جليديات الوديان هي جليديات بامير(جليدية فيدشينكو بطول ٧٧ كم وعرض لسانها ٢ـ٥ كم ومساحتها حوالي ١٠٠٠كم^2)٠ وجليديات جبال الهيمالايا (جليدية سياتشين بطول ٧٥كم وبمساحة ١١٨٠كم^2)٠ وتتمتع الوديان التي تشكل هذه الجليديات بمظاهر طبوغرافية مميزة، اذ يكون مقطعها الرأسي العمودي على اتجاه

انحدار الوادي على شكل حرف U ، كما تتميز هذه الوديان بتكوين ما يعرف احيانا باسم الوديان المعلقة.

وتتميز الجليديات الجبلية عموما بانتشار غير متساو على سطح الارض فحوالي نصفها يتوضع في قارة اسيا بجوار جبال التيبت وهناك جليديات اخرى تنتشر في امريكا الشمالية والجنوبية وغيرها من المناطق الاخرى .

١-٥-٤-٣- الجليديات البينية :

وتتشابه مع كل من الجليديات الجبلية والغطاءات الجليدية وهي تقسم الى نوعين رئيسيين :

- جليديات الهضاب .
- جليديات السفوح .

١- جليديات الهضاب :

وتنتشر بكثرة في الدول الاسكندنافية واكبرها حجما جليدية جنوب النروج . وهي تتألف من جليديات قارية وعدد من جليديات الوديان التي انفصلت عنها في مختلف الاتجاهات . وتبلغ المساحة الاجمالية لهذه الجليديات ٩٤٣كم٢.

٢- جليديات السفوح :

عندما تتساقط الكتل الجليدية من اعالي الجبال تنزلق على سفوح الجبال حيث تو لف ما يسمى بجليديات السفوح وهذه الجليديات

تنتشر في امريكا الجنوبيه حيث تبلغ المساحة العامة لها في منطقة الآند ٢٥٠٠٠ كم٢ وفي منطقة الاسكا تبلغ مساحتها ٥٢٠٠٠كم٢ .

<u>١ـ٥ـ٥ـ الفعل الحتي للثلوج والجليديات :</u>

تسبب الكتل الضخمة من الثلوج المتراكمة على سطوح الجبال انهيارات ثلجية مختلفة . وتبلغ سرعة انهيال الاكوام الثلجية احيانا ١٠٠ كيلومتر في الساعة او اكثر . وتنقل الكتل الثلجية المنهالة في طريقها نحو الاسفل باتجاه الوديان والمنخفضات الكتل الصخرية الحطامية التي تصادفها في طريقها . كما تؤدي الى تحطيم الصخور فهي تقتطع كتلا صخرية ضخمة وتنقلها مع المواد الحطامية الناعمة الى اماكن اخرى . ويساعد الجليديات على حركتها الطبقة المائية الرقيقة التي تتشكل في اسفلها نتيجة احتكاك الجليديات بسطح الارض ، حيث تقوم المياه المتشكلة بدور زيت التشحيم . وتسمى عمليات حت وتخريب الصخور بواسطة الجليديات بالتعرية الجليدية او الحت الجليدي .

ويتعلق حجم الحت الجليدي بالضغط الذي تولده الكتلة الجليدية على سطح الارض . فعندما تكون سماكة الجليدية ١٠٠ متر فان الضغط المتولد على ام٢ يبلغ ١٠٠ طن ومع زيادة سماكة الجليد يزداد الضغط الناتج ايضا . وتنشط عمليات الحت الجليدي ايضا اذا كانت الجليدية حاملة لصخور حطامية قاسية . فتعمل هذه الصخور على صقل وخدش الصخور التي تصادفها الجليدية في طريقها ، ويقاس عمق الخدوش او النتوءات بالمليمترات اما عرضها فيقاس بالسنتمترات

وطولها بالامتار .

وتساهم عملية الحت الجليدي في تشكيل سطح الارض حيث تـــؤدي الى اشكال تضاريسية مختلفة من اهمها:

ا- ألأودية الجليدية :

تقوم الجليديات بحفر مجراها وتعميقة وتوسيعه في الاوديـــة القديمة المنشأ؛ اما قوتها على حت الوديان التي تجري فيها فهـــي اقل بكثير من قوة الانهار على ذلك . وترجع قوة الجليديات على حـــت الوديان الى قوة ضغط الجليد وثقله على الصخور/بما يحمله من مـــواد صخرية التقطها اثناء زحفه . فاذا احتكت هذه المواد الصخرية بسطـــح الوادي فانها تصقله وتبريه وقد تترك هذه العملية خدوشا متوازيـــة الاتجاه في قاع الوادي تدل على اتجاه حركة الجليديات ،كما انهـــا تعمل على تعميق القاع وتوسيع الجوانب بنسبة واحدة ولذلك يكـــون الوادي الجليدي على شكل حرف (U) .

بينما يكون وادي النهر فيالمناطق الجبلية على شكل حرف(V) ويختلف الجليد من المياه الجارية السطحية بكونه جسما صلبا فهـــو لذلك لا يتبع في حركته التواءات الوادي القديم وبالتالـــــي اذا صادفته صخور ناتئة في جوانب الوادي فانه يكسرها ويجرفها معـــه . لذلك فان اودية الانهار الجليدية اكثر استقامة من اودية الانهـــار العادية .

٢- الاودية المعلقة:

وهي عبارة عن وديان روافد الجليديات ، وهي تكون في مستوى

الوادي الرئيسي للجليدية الرئيسية وذلك لان الجليدية تعمل على تعميق مجراها اكثر من الروافد التي بقيت قيعانها معلقة من قاع النهر الجليدي الرئيسي . وهذه الظاهرة ... الجليديات حيث تتميز بها عن مجاري الانهار.

٣ـ الحلبات الجليدية:

وتعتبر من اهم الاشكال التضاريسية التي تتميز بها المناطق الجبلية المرتفعة التي تأثرت بعمل الحت الجليدي، وهي تنشأ من عمليات تعميق الجليد لحفر كانت موجودة في الاصل عند رؤوس الاودية في اعالي الجبال . فتتحول تلك الحفر الى حلبات اي الى احواض لها شكل هلالي او نصف دائري وفي اغلب الاحيان تتحول الحلبات الى بحيرات عند ذوبان الثلوج وتسمى في انكلترا باسم (Tarn) .

ويفسر تشكل هذه الحلبات الجليدية بتتابع عمليات التجمد والذوبان في الشقوق والفواصل الموجودة في الصخور المحيطة بتلك الحفر التي يملأها الجليد. وتتسبب هذه العملية في تحلل الصخر وتفككه ميكانيكيا. ومن ثم تعمل المياه الناجمة عن الذوبان على ازالة المواد المفتتة واخلاء الحفر منه ،ومن ثم تنشأ "ما يسمى "بتجاويف فعل التجمد والذوبان " ،وعندما ينمو التجويف المليء بالجليد ويكبر فانه يصبح مصدرا لحقل جليدي او حتى لجليدية جبلية تقوم بالتقاط المواد الحطامية الصخرية من قاعها.

ك- الحافات الجبلية والقمم الهرمية :

وتتشكل الحافات الجبلية نتيجة زيادة الحت في جانبي طبتين متجاورتين فتتسعان وتقتربان من بعضهما ولا يفصلهما سوى حافة جبلية حادة.

اما القمم الهرمية فتنشأ حين تتضافر ثلاث جليديات طبات او اكثر في حت سلسلة جبلية من كل الجوانب فتتكون في النهاية قمة جبلية على شكل هرم، وتكون هذه القمم في معظم الاحوال حادة واشهرها قمة ماترهورن(Matterhorn) في سويسرا.

م- الصخور الغنمية :

وهي عبارة عن صخور بارزة في قاع الوادي الجليدي، تتميز بسطحها الاملس وبشكلها المنحني الذي يشبه ظهور الغنم ،ويعود منشأ هذه الصخور الى ان الجليدية اثناء حركتها وحتها لقاع الوادي الجليدي اخترقتها هذه الصخور فلم تستطع حتها او التلاعها بل بقيت بارزة في قاع الوادي،وتتميز جوانب هذه الكتل الصخرية المقابلة لسير الجليدية بانحدارها القليل وسطحها الاملس ووجود الخدوش والاثلام عليها، اما الجوانب المعاكسة لسير الجليدية فتكون شديدة الانحدار وقليلة التأثر بفعل الحت .

ب- النقل والترسيب الجليدي :

تحمل الجليديات اثناء سيرها كمية كبيرة من المواد الحطامية التي تحصل عليها من حت قاع وجوانب الوادي، وكذلك من

الكتل الصخرية المنهالة من السطوح الجبلية المطلة عليها. وتختلف رواسب الجليديات كثيرا من رواسب الانهار ، فكثيرا ما تصادف قطع كبيرة من الصخور نقلتها الجليديات من اماكن بعيدة ورسبتها مع المواد الطينية الدقيقة الجزيئات وتأخذ الرسوبات التي توضعها الجليديات الاشكال التالية :

١ـ <u>المورنيات او الركام الجليدي :</u> Moraines

وتقسم المورنيات الى قسمين رئيسيين هما :

- المورنيات المتحركة التي لا تزال الجليديات الحالية تحملها
- المورنيات غير المتحركة التي ترسبت بعد ذوبان الجليدية.

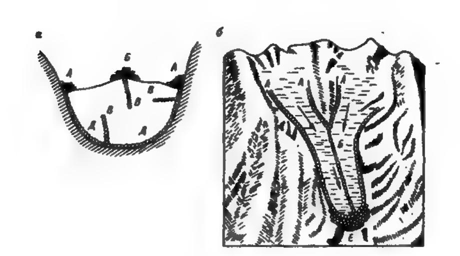
وحسب الوضعية في جسم الجليدية المتحركة تقسم هذه الاخيرة الى الانواع التالية : (الشكل ٤-٢٦).

آ- المورنيات السطحية : وتتألف من المواد الحطامية الصخرية التي تقع على سطح الجليدية وتكون غالبا حادة الاطراف وغير مصقولة.

ب- المورنيات الجانبية : وهنا تتراكم المواد الحطامية على جوانب الوادي الجليدي وتنشأ من المواد التي تتساقط من جدران الوادي وجوانبه بفعل الحت الجليدي وغيره من عوامل التجوية.

جـ- المورنيات الوسطية : وتقع في وسط المجرى الجليدي وهي تنشأ

من اتحاد المورينات الجانبية في مجرى واحد.



الشكل (١-٢٦) مخطط توضع المورينات في المقطع العرضي للجليدية (a) وفي المستوي (б) .

A - المورينات الجانبية.

Б - المورينات المتوسطة.

B - المورينات الداخلية.

D - المورينات القاعية.

E - المورينات النهائية.

د - المورينات الداخلية: ان المورنيات السطحية عند ذوبان الجليد تتحرك داخل الجليدية وتصبح مورنيات داخلية وهذه الاخيرة يمكن ان تتشكل نتيجة تسرب هذه الانقاض الى الداخل عبر الشقوق السطحية للجليدية.

هـ - المورينات القاعية: وتنشأ بشكل رئيسي نتيجة حت الجليديات

للمجرى الصخري الذي تسلكه ومن تسرب المورينات الداخليــــة الى القاع وهي تتميز برسوبات شديدة النعومة مؤلفة بشكــل رئيسي من حصى ورمال واوحال متجمدة تتحرك مع الجليديـــــة وتساهم في حفر الوادي الجليدي .

تنحدر المورينات المتحركة بالتدريج عند ذوبان الجليديـات نحو الاسفل وتتوضع على القاع وتصبح مورينات غير متحركة وهي تقســم بدورها الى نوعين رئيسيين :

آـ المورينات الاساسية : وتتألف من مواد حطامية ناعمة (غضـــار ورمال) ومواد اكبر نسبيا كالحصى والحصباء متناثرة علـــى قاع المجرى الذي سلكته الجليدية سابقا .

ب ـ المورينات النهائية : وهي تملك تركيبا مشابها للمورينـــات الاساسية ،وتتكون عند نهاية النهر الجليدي(اللسان الجليدي) حيث ينصهر الجليد ويتحول الى مياه لا تقوى على نقل كـــل المواد التي جرفها ونقلها الجليد،فيترسب قسم منها فـــي هيئة تلال هلالية الشكل تقريبا .

٢ـ الدروملينــــن : Drumlins

وتسمى ايضا بالكثبان الجليدية وهي عبارة عن تلال منخفضــــة مستديرة الشكل ، تنشأ عند وجود عوائق تصادفها الجليدية في طريــق حركتها حيث تتجمع المورنيات (الركام الجليدي).وتتفاوت هــــــذه الكثبان الجليدية في احجامها وابعادها ، فمنها التلال الصغيرة التي لا تتعدى ابعادها بضعة امتار ومنها التلال الكبيرة التي يبلغ طـول كل منها كيلومتر او كيلومترين وفي حالات نادرة يبلغ طولها ١٠ كــم

وارتفاع كل منها نحو ١٠٠ متر وهي تنتشر بكثرة فوق الهضبةالسويسرية وفي جنوب المانيا.

٣ـ الغضاريات الجلاميدية: Boulder Clay

وتعتبر من النواتج الرئيسية للترسيب الجليدي وهي عبارة من رواسب غير متطبقة تتألف في معظمها من الغضار والرمال وتحوي احجارا متفاوتة الحجم والشكل . وتعرف هذه الرواسب احيانا باسم التيل (Till) والسهل الذي تترسب فيه باسم سهل التيل (Till plain) وتصادف في اكثر الاحيان عند نهايات الغطاءات الجليدية نتيجة تعرضها للذوبان السريع مما يؤدي الى ترسيبها للمواد التي تحملها على شكل تلال منخفضة.

٤ـ الجلاميد او الصخور التائهة: Erratics boulders

وهي عبارة عن كتل صخرية كبيرة الحجم نقلها الجليد الى مسافات بعيدة ،ثم وضعها في اماكن بعيدة عن مصادرها الاصلية ،ومثال ذلك وجود كتل من الغرانيت يصل وزنها الى بضعة آلاف من الاطنان في مناطق ذات تركيب جيولوجي رسوبي يتكون من الحجر الكلسي او الحجر الرملي ،وتتميز هذه الكتل عموما بكثرة الحزوز والخدوش مما يدل على اثار احتكاك الجليد بها. وقد سميت بالصخور التائهة لانها توجد حاليا في مناطق غريبة عن موطنها الاصلي . وهناك من يسمي هذه الصخور بالصخور المرشدة نظرا لانها ترشد العلماء الى مسار الجليد الذي دفعها من موطنها الاصلي الى بيئتها الجديدة.

هـ توضعات الانهار الجليديـــة :

وتتمثل هذه التوضعات برسوبات غالبا ما تكون عناصرها متطبقة ومرتبة حسب مقاساتها بشكل مماثل للرسوبات النهرية وهي مؤلفة بشكل اساسي من الغضار والرمل والحصى والحصباء. وتميز ضمن هذه التوضعات ثلاثة انواع رئيسية :

آ- رواسب الاوزر Osar deposits

وهي عبارة عن تلال جليدية مستطيلة الشكل تبدو بشكل حافـــة طويلة، تمتد في اتجاه حركة الجليدية عرضها لا يتجاوز بضعة إمتـــار بينما طولها يتراوح بين بضعة مئات من الامتار وحتى عشرات الكيلـــو مترات . اما ارتفاعها فيتراوح بين ٥ و ٥٠ متراً. وهي تتألف مـــن مواد رملية وحصوية موزعة توزيعا منتظما وتظهر على شكل طبقـــات. اما بالنسبة لمنشأ الاوزر فيعتقد اغلب العلماء بانها تكونت بواسطة مجاري مائية كانت تجري خلال الجليد او تحت سطحه او عند قاعـــه عندما كان الغطاء الجليدي يتراجع بسرعة. وهي تنتشر بكثرة فـــي استونيا ولتوانيا وفنلندا والسويد .

ب- رواسب الكام : Kames deposits

وتبدو بشكل تلال ارتفاعها ١٠-١٢ متر مبعثرة بجوار المورينات النهائية. تتألف هذه التلال من الغضاريات والرمال والحصى وهـــي تتصف بوجود ظواهر التطبق فيها. ويعتقد العلماء ان رواسب الكـــام تشكلت في كتل جليدية ضخمة عديمة الحركة،حيث امتلأت الحفر والشقوق الموجودة على سطح الجليدية بالمياه مشكلة بحيرة صغيرة ما لبثـــت

ان بدأت المياه الجارية التي تصب فيها بتفريغ حمولتها وتشكلت نتيجة ذلك رسوبات بحيرية متطبقة . ومع ذوبان الجليدية تغوص المواد المتوضعة في مثل هذه البحيرات تدريجيا حيث تستقر عند المورنيات النهائية على شكل تلال منخفضة .

تنتشر رواسب الكام في سهول امريكا الشمالية وشمال غرب اوروبا حيث تغطي مساحات تقدر بعديد من الكيلومترات المربعة .

جـ رسوبات السهل الانجرافي Outwash plane

وهي عبارة عن سهول رملية واسعة تمتد عند منحدرات المورنيات النهائية الخارجية . وذات تموج خفيف تتشكل هذه السهول من التقاء مخاريط تجمع الالسنة الجليدية (الانهار الجليدية) التي تخرج من تحت اطراف الجليدية . فعند تقهقر الجليدية يزداد مخروط التجمع ويشكل سهلا انجرافيا قليل التموج . وتتألف رسوبات هذا السهل بشكل اساسي من الرمال مع كميات قليلة من الغضار والحصى وهي في كثير من الاحيان رسوبات متطبقة يظهر فيها تطبق متدرج .

<u>١-٥-٧- اسباب تشكل الجليديات :</u>

توجد فرضيات كثيرة توضح اسباب نشوء الجليديات وهي تستند في مجملها الى عوامل فلكية واخرى جيولوجية .

فالفرضيات التي تعزي تشكل الجليديات الى اسباب فلكية من اهمها :

١- تغير ميل محور الارض .

٢- وجود سدم كونية اعترضت طريق الاشعة الشمسية التي ترد الى الارض خلال الازمنة القديمة مما ادى الى حجز كمية من الحرارة وبالتالي تشكل الجليديات .

٣- تغير شدة الاشعاع الشمسي . فالنشاط الشمسي يتغير كل ١١سنة ، بشكل دوري وبناء على ذلك يفترض الفلكيون وجود دورات مماثلة خلال التاريخ الجيولوجي لكن لفترات اطول تغير خلالها النشاط الشمسي مما ادى الى تبرد المناخ وتشكل الجليديات خلال فترات معينة من تاريخ الارض .

اما العوامل الجيولوجية التي تؤدي الى تشكل الجليديات فأهمها :

١- عمليات تشكل الجبال .

٢- النشاط البركاني .

٣- حركة القارات .

ان كل فرضية من هذه الفرضيات تعاني من نقص معين ، فمثلا الفرضية التي ترجع تشكل الجليديات الى عمليات تشكل الجبال لا توضح اسباب غياب الجليديات خلال حقب الميزوزوي على الرغم من النشاط الكبير لعمليات تشكل الجبال خلال هذا العصر .

كذلك فان زيادة الفعالية البركانية برأي بعض العلماء تقود الى دفء المناخ على الارض ، (فغاز ثاني اوكسيد الكربون الذي تقذفه البراكين في الغلاف الجوي عند ثورانها يساعد على

الاحتفاظ بالاشعة الشمسية لفترة طويلة في الغلاف الجوي). اما برأي البعض الاخر فان الفعالية البركانية تؤدي الى برودة المناخ. فالرماد والمواد البركانية المقذوفة تحجب كمية كبيرة من الاشعة الشمسية وتمنعها من الوصول الى سطح الارض.

واخيرا ووفقا لفرضية تحرك القارات فان اجزاء ضخمة من اليابسة على امتداد تاريخ تطور الكرة الارضية انتقلت بشكل دوري من مناطق ذات مناخ دافء الى مناطق اخرى ذات مناخ بارد والعكس بالعكس.

١-٥- الاهمية المناخية والجيولوجية للجليديات :

لقد لعبت الجليديات خلال الازمنة الجيولوجية القديمة وتلعب حاليا دورا مهما وكبيرا للغاية في تشكل الظروف المناخية على سطح الارض. فبفضل الجليديات ينشأ في الغلاف الجوي فروق في درجات الحرارة تتسبب بدورها في حركة الكتل الهوائية وتنقلها. كذلك تغذي الجليديات العدد الكبير من الانهار بالمياه الناتجة عن ذوبان الجليد. ما عدا ذلك تحمل الجليديات في اجسامها كميات كبيرة جدا من المياه العذبة الضرورية لمتطلبات سكان الارض الحياتية سيما وان هناك مقترحات كثيرة تشير الى امكانية جروسحب الجزر الجليدية العائمة في البحار والمحيطات الى شواطىء البلدان التي تعاني من نقص كبير في مواردها المائية.

كذلك تستخدم رواسب الانهار الجليدية وغيرها من مواد الترسيب الجليدي كمواد بناء وفي الاغراض الصناعية المختلفة.

١ - ٦ - الفعل الجيولوجي لمياه البحار والمحيطات

١-٦-١- مقدمة عامة :

تغمر مياه البحار والمحيطات ما يقارب ٧١ ٪ من سطح الكرة الارضية (٣٦١ مليون كم^{2}) ، اما المساحات القارية المتبقية (٢٩ ٪) فهي تنتشر بشكل غير متجانس ، اذ يتركز القسم الكبير منها في الجزء الشمالي للكرة الارضية حيث تشكل القارات ٤٠ ٪ من المساحة. لذلك يطلق العلماء على هذا القسم من الكرة الارضية اسم نصف الكرة القارية. اما في النصف الجنوبي للكرة الارضية فتكون القارات ٢٠ ٪ فقط من المساحة. وهذا التوزيع يوءثر بشكل كبير على توزيع التيارات البحرية.

ويقدر حجم مياه البحار والمحيطات ب ٣٢٣ر٣٧٠ر١ كيلومتر مكعب وهي بحالة حركة مستمرة. وهذه المياه هي المصدر الرئيسي لبخار الماء الذي تتكون منه الامطار والمياه السطحية والجوفية التي تعتمد عليها الحياة على اليابسة .بالاضافة الى ذلك فالمحيطات والبحار هي مسكن العديد من المتحجرات التي تلعب دورا رئيسيا في تشكيل بعض انواع الصخور الرسوبية.

ويتراوح عمق بعض البحار بين ١٠٠ و ٢٠٠ متر.وبينما تصل اقصى الاعماق في المحيطات الى عمق ١١٨٠٠ متر تحت سطح البحر.وذلك

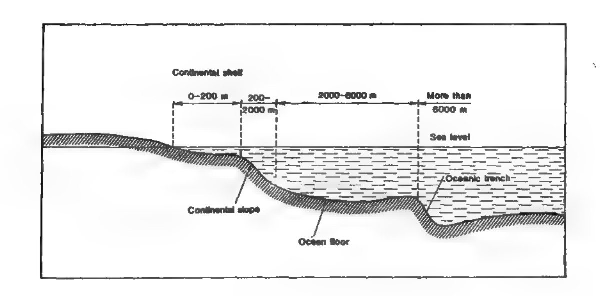
في المحيط الهادي (حفرة الفلبين) ،بينما يتراوح معدل ارتفاع الارض اليابسة بحوالي ٨١٠٠ متر من سطح البحر .

يتضمن الفعل الجيولوجي لمياه البحار والمحيطات مجموعة من العمليات المتبادلة التي تشمل تفتيت الصخور ونقل المواد الذائبة والمنحلة الى الاحواض المحيطية ومن ثم تراكم الرسوبات وتشكيل الصخور الرسوبية. فأكثر من ٩٥ ٪ من الصخور الرسوبية تعود لما يجري ويؤيد ذلك بقايا المستحاثات الحيوانية والنباتية المحفوظة في طبقات القشرة الارضية. تغطي الصخور الرسوبية حوالي ٧٥ ٪ من مساحة اليابسة منها ٥٠ ٪ صخور غضارية و ٣٠ ٪ صخور رملية و ٢٠ ٪ صخور كربوناتية. وتحتوي هذه الصخور على فلزات اقتصادية كثيرة مثل خامات الحديد والمغنزيوم والفوسفات والغاز الطبيعي والبترول وغيرها.

وقد ساعدت دراسة مختلف قيعان البحار والمحيطات ومقارنة العينات المأخوذة منها بالعينات المأخوذة من سطح الارض في توضيح شروط البيئات القديمة واعادة بناء العالم العضوي، وقد كان المعيار في ذلك هو فهم ما يجري في الوقت الحاضر كمدخل اساسي لفهم ما جرى في الزمن الماضي .

١-٢- تضاريس قاع البحار والمحيطات :

يطلق قاع البحر على الجزء المنخفض من سطح الارض ، والمغطى بالمياه المالحة المحصورة بين الاراضي اليابسة المتمثلة بالقارات . ويمكن تقسيم هذا القاع الى المناطق الاساسية التالية: شكل (١-٢٧).



الشكل رقم (١-٢٧)

المناطق الاساسية لقاع البحار والمحيطات

أ- المنطقة الشاطئية (منطقة المد والجزر) Littoral zone

ب- منطقة المياه الضحلة او الرف القاري. Continental shelf

جـ- منطقة المنحدر القاري Continental shope

د- منطقة الاعماق السحيقة Abyssal zone

أ- المنطقة الشاطئية : Littoral zone

وهي المنطقة المحصورة بين الحد الاعلى الذي يبلغه منسوب مياه البحر في حالة المد والحد الادنى الذي ينسحب اليه ماء البحر في حالة الجزر. رواسب هذه المنطقة فقيرة عموما ببقايا الحيوانات البحرية اذ ان الظروف المسيطرة فيها لا تسمح بتكاثر الحيوانات وبالتالي لا نجد عادة بين صخورها من بقايا الحيوانات الا ما تأتي

به الامواج والذي هو بالاصل تابع الى مناطق اخرى . ويمكـــــن ان تتشكل في هذه المنطقة اللاقونات او البحيرات الشاطئية وذلك نتيجة انفصال جزء من البحر بفعل الاكوام الرملية المتشكلة بهيئة خطوط ضيق وموازية للشاطىء. وتسمى المنطقة التي تقع على امتدادالمناطق الشاطئية والغنية بالحيوانات العائمة والسابحة بالمنطقةالبيلاجية.

ب ـ منطقة المياه الضحلة (الرف القاري) Continental shelf

وتعتبر هذه المنطقة استمرارا لليابسة وهي تحيط بها بشكل شريط يختلف عرضه من مكان لآخر . ويبلغ عشرات ومئات الكيلومتـــرات ويمكن ان يبلغ احيانا ١٢٠٠ كم كما هو الحال عند شواطىء المحيـــط المتجمد الشمالي والمحيط الهادي. يبلغ عمق المياه في هـــــــذه المنطقة وسطيا ٢٠٠ متر ومتوسط ميل سطحها حوالي ٠٫٠٧ من الدرجـــة. تتميز هذه المنطقة بالحركة المستمرة للماء وذلك بسبب تأثير المد والجزر والامواج والتيارات المائية. ويشكل الانكسار المفاجىء بالعمق حدا طبيعيا حقيقيا لهذه المنطقة.

جـ منطقة المنحدر القاري : Continental shope

تمثل هذه المنطقة في صفاتها وموقعها مرحلة انتقالية بيـــن المنطقة الضحلة والمنطقة العميقة وهي تشكل حوالي ١٥ ٪ من مساحـــة المحيطات والبحار،يتراوح عمق هذه المنطقة بين ٢٠٠ و ٢٥٠٠ متـــر يبلغ ميل سطح المنحدر القاري ١٥ درجة واكثر. تمتاز هذه المنطقـــة بشكل عام بالهدوء النسبي وتقل فيها التأثيرات الميكانيكية اذانها تتضاءل مع العمق .

د. منطقة الاعماق السحيقة :   Abyssal zone

وهي منطقة يتجاوز عمقها ٢٠٠٠ متر وتوجد فيها ... تتجاوز ٦٠٠٠ متر . وتعتبر اكثر مناطق الحفر المحيطية عمقا منطقة كوريلو ـ كامتشاتكا (حوالي ١١٠٠٠ متر).

وتشكل هذه المنطقة حوالي ٧٥ ٪ من مساحات المحيطات وتتصف بانحدار بسيط . ويوجد فيها كائنات حية تستطيع العيش رغم الظروف القاسية فيها حيث ان الضوء معدوم وضغط الماء عال جدا كما ان درجة الحرارة منخفضة جدا وتقترب من الصفر .

١-٦-٣- انواع حركة مياه البحار والمحيطات :

تعتبر دراسة حركة مياه البحار والمحيطات غاية في التعقيد، وتنتج هذه الحركة عن عوامل طبيعية مختلفة منها دوران الارض والمد والجزر، والرياح ، والترسيب ،والتغير بدرجات الحرارة والملوحة والاختلاف بكثافة المياه وغيرها. وتعتبر هذه الحركة من اهم العوامل الرئيسية في الفعل الجيولوجي لمياه البحار والمحيطات وهي تقسم الى ثلاثة انواع : هي الامواج ، والمد والجزر ، والتيارات البحرية.

آ- الامـــواج :

وهي عبارة عن حركة موضعية رأسية تنتاب مياه البحار والمحيطات . وتنتج الامواج عن فعل الرياح في سطح البحار والمحيطات غير انها يمكن ان تنشأ بتأثير حركات المد والجزر او الزلازل

او النشاط البركاني في قاع المحيط . ولكل موجة ارتفاع وهو المسافة بين قمتها وقاعدتها، وطول يعبر عنه بالمسافة الكائنة بين قمة هذه الموجة وقمة الموجة التي تليها. ففي البحر الابيض المتوسط يبلغ متوسط طول الموجة نحو ٥٠ مترا وارتفاعها نحو ٣-٦ امتار ، اما في المحيط فيبلغ متوسط طول الموجة ١٦٠ مترا وارتفاعها من ٨ الى ٩ امتار .

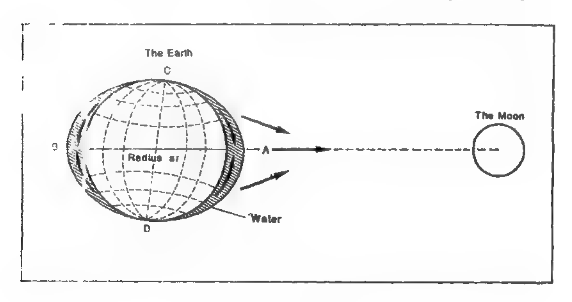
ان كتلة المياه لا تتحرك ولا تنتقل مع الموجة ولكن الذي ينتقل هو الطاقة الدافعة ، فجزئيات الماء تتحرك في مسار دائري او بيضاوي يتعامد على خط مرور الموجة ثم تعود قريبا جدا من مكانها الاصلي .

وتتعلق طاقة الموجة بسرعة الرياح وعمق مياه البحر اوالمحيط الذي تتولد فيه. فالامواج التي تتولد بالقرب من الشاطئ تتباطأ بسبب احتكاك الاجزاء السفلى منها بأرض البحر مما يؤدي الى تشوه شكل الموجة، فيقل طولها ويزداد ارتفاعها وبالتالي تتحول حركة المياه الى حركة تقدمية افقية. وعندما تصل الامواج الى الشاطئ ترتطم به بقوة فتتكسر . ويسمي بعض العلماء هذه الامواج بأمواج الارتطام وقد قدرت القوة التي ترتطم بها بين ٣٠٠٠ و ٣٠,٠٠٠كيلو غرام على كل متر مربع . وتعمل قوة الارتطام هذه على تفتيت صخور الشاطئ. ويقابل ارتطام الموج بالشاطئ حركة مضادة في الطبقات السفلى من الماء تجرف معها نحو البحر كثيرامن المواد المفتتة تسمى بتيارات السحب .

ب ـ المد والجزر :

وهو ارتفاع مستوى البحر عن الشواطئ وانخفاضه

كل ١٢ ساعة. فعند ارتفاع سطح البحر يتكون تيار قوي يمتد من البحر نحو الشاطئ، اما عند انخفاض مستوى البحر يتجه التيار الناتج من الجزر من الشاطئ نحو البحر. وتنشأ حركة المد والجزر بسبب الجاذبية التي تسببها الكواكب على الكرة الارضية. وهذه الجاذبية تزداد شدة كلما كبر حجم الكوكب او ازداد اقترابه من الارض ولهذا السبب فان القمر هو المسبب الرئيسي لحركتي المد والجزر بسبب قربه الكبير من الارض. الشكل (١ـ٢٨).

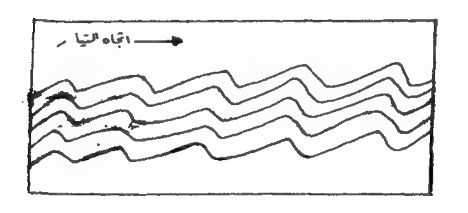


الشكل (١ـ٢٨)

يوضح تشكل المد

تتأثر مياه البحار والمحيطات كلها من القاع وحتى السطح، بحركتي المد والجزر وذلك عكس الامواج التي تحدثها الرياح، فرغم شدتها لا يتعدى تأثيرها ثمانية ١٠٠ـ١٥٠ متر. وتختلف قوة المد

والجزر تبعا لموقع الشمس والقمر بالنسبة للارض . فعندما تقع هـــذه الكواكب الثلاثة على استقامة واحدة اي عندما يكون اتجاه القمـــر والشمس على مركز الارض بزاوية صفر او ١٨٠ درجة ينضم تأثير القمـــر الى تأثير الشمس ويحدث المد الكامل وتحدث هذه الحالة مرتين فـــي الشهر عندما يكون القمر هلالا او بدرا . اما عندما تكون الزاويـــة على سطح الارض بين الشمس والقمر ٩٠ درجة . فان اثرهما يتعارض ويحدث المد المنخفض .



الشكل (١-٢٩)

التموجات التيارية البحريـــة

وتتباين طبيعة المد والجزر من مكان لاخر فقد لا يزيد عـــن نصف متر في وسط المحيط . بينما يصل الفرق بين المستويين ١٥ متـــر في بعض الخلجان والشواطئ المحصورة . وللمد والجزر اهمية كبيـــرة في نقل المفتتات الصخرية وترسيبها في المناطق الساحلية .

ج ـ التيارات البحرية :

تعرف التيارات البحرية بانها كتل متصلة من المياه تتحـرك

حركة مستمرة،وهي تنشأ بفعل عوامل عديدة من اهمها على الاطـــــلاق تأثير الرياح ، اذ تعطي الماء طاقة تستطيع ان تحركه في تيـــارات وكذلك اختلاف درجات حرارة الماء نتيجة تبادله الحرارة مـــع الجـــو او اشعاعه لها. وتكون التيارات البحرية اما حارة تتجه من المناطق الدافئة الى المناطق الابرد نسبيا، او باردة تتجه من مناطق بــاردة الى مناطق اخرى ادفأ نسبيا.

فالرياح الدائمة وخاصة الرياح التجارية الشمالية الشرقيـة والجنوبية الشرقية التي تهب صوب خط الاستواء من الشمال ومــــن الجنوب تقوم بدفع المياه الاستوائية نحو امريكا الوسطى حيث يخرج تيار الخليج المشهور الدافئ كولف ستريم(Gulf Stream) الذي يبدأ من خليج المكسيك ويتجه الى الشمال الشرقي مخترقا المحيط الاطلسي الشمالي ويمر بشواطئ اوروبا الغربية وحتى المناطق القطبيـــة. وباعتبار ان مياه هذا التيار قد ابتدأت عند خط الاستواء لذلـــك فهي مرتفعة الحرارة نسبيا مما يؤدي الى تلطيف برودة الشتـــاء في تلك المناطق التي يمر بها هذا التيار .

اما التيارات الباردة فتنشأ في الاجزاء القطبية للكـــرة الارضية ،فمثلا في المناطق المجاورة للقطب الجنوبي تؤثر الريـــاح الغربية في هذه التيارات مكونة تيارا باردا يتجه الى الشـــرق ويعرف باسم انجراف الرياح الغربية(West Winds drift) .

ان التيارات البحرية وان كانت عظيمة الاثر من الوجهـــة المناخية الا ان دورها في تشكيل السواحل محدود جدا وبشكل عـــام يقتصر دورها على نقل المواد الناعمة وتوضعها في اماكن اخرى قـــد

تبعد بضعة كيلومترات . كذلك يمكن ان تكون التيارات البحرية في بعض قيعان المياه الضحلة للبحار والمحيطات نوعا معينا من التموجات على الرمال تسمى بالتموجات التيارية (Ripples current) الشكل (١-٢٩).

ويلاحظ من الشكل ان هذه التموجات غير متناسقة ،اذ ان احد جانبيها الموجود في الجانب الذي تأتي منه التيارات البحرية يكون اكثر طولا وانحداره خفيفا. اما الجانب الاخر فيكون اقصر وانحداره شديدا .

١-٧-٤- الحت البحري :

آ- العمل الحتي للامواج :

ان عملية حت وتحطيم الشواطئ مرتبطة بنشاط الامواج البحرية . فعند هبوب الرياح الشديدة تكتسب الامواج طاقة كبيرة تنقلها الى الشاطئ لتضرب بها الصخور بقوة تبلغ عدة اطنان على المتر المربع الواحد وتدفع الهواء داخل الشقوق ،فيضغط على الصخور الجانبية ، وعند تراجع الموجة يندفع الى الخارج بصورة فجائية وبقوة كبيرة تكاد تبلغ درجة الانفجار فتؤدي الى تكسير الصخور وتفتيتها، وهكذا تخضع الصخور قليلا قليلا للحت والتحطيم. ان سرعة الحت الشاطئي تتعلق بعوامل عديدة اهمها :

١- انحدار الشاطئ : وفقا لتصنيف فعب زينكيفيتش تقسم الشواطئ البحرية بحسب درجة انحدارها الى شواطئ شديدة الانحدار وشواطئ ضحلة يلاحظ فيها انتقال تدريجي الى المنطقة

الشاطئية ، فالامواج البحرية التي تصل الى الشواطئ الضحلة تفقد بسرعة قوتها وتعود بعد اصطدامها باليابسة الى البحر. وفي حالة الهيجان البحري تقوم المياه الشاطئية بجرف الرسوبات الحطامية الموجودة على الشاطئ، اما في حالة الهدوء البحري فتقوم المياه بغسل هذه الشواطئ وتشكل بالنتيجة من التوضعات الرسوبية المتراكمة، الرف الشاطئي . اما في الشواطئ الشديدة الانحدار، فان المياه تقوم باستمرار كمطرقة ،بضرب صخور الشاطئ محاولة بذلك تحطيم هذه الصخور. وفي حالة الهيجان البحري تبلغ قوة ضرب الامواج لصخور الشواطئ بضع مئات من الكيلوباسكال وارتفاع رذاذ المياه يصل الى ٥٠ متر واكثر .

٢- طبيعة صخور الشاطئ: ان الصخور التي تتكون منها الشواطئ تتفاوت في صلابتها ومقاومتها لقوة الامواج وبالتالي فان عملية حت المياه تكون اسرع في الاجزاء الرخوة، بينما تبقى الاجزاء الاكثر مقاومة بارزة باشكال مختلفة. لهذا نرى ان اغلب الشواطئ الصخرية متعرجة وغير مستقيمة.

٣- وجود التشققات في الصخور الشاطئية ،فكلما كانت كبيرة كلما كانت عمليات الحت اعمق وانشط بمعنى اخر كلما كانت مقاومة الصخر للحت البحري قليلة.

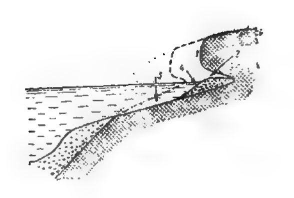
٤- ميل الطبقات الصخرية المكونة للشواطئ: فعندما تتمدد هذه الطبقات باتجاه اليابسة يكون الحت البحري على اشده.

اما اذا كان ميل هذه الطبقات باتجاه البحر يساعد الحت البحري على انزلاقهاويؤدي ذلك الى تخفيف انحدار الشاطىء وهذا ما يبطىء الحت البحري وتراجع الشاطىء. يزداد تأثير الامواج بما تحمله من مواد مفككة كالحصى والرمال ،حيث تصبح بها الصخور مستعملة اياها كمطارق او اسنان ،تعمل على تحطيم هذه الصخور وتفتيتها. وتبلغ سرعة تآكل الشواطىء بشكل وسطي مرا-٣ امتاروفي بعض الحالات الاستثنائية تبلغ ٢٥ مترا كما هو الحال في الشواطىء الفرنسية.

ب – مظاهر الحت البحري :

يتجلى العمل الحتي للامواج بعدد من الظواهر الجيومورفولوجيا من اهمها :

١- الفجوات والجروف : تتشكل الفجوات نتيجة حت الامواج لاسفل الصخور الشاطئية في المنطقة التي تقع بين مستوى المد والجزر ،وهذه الفجوات المتشكلة بصخور الشاطىء نتيجة حت المياه تزداد عمقا واتساعا في مستوى سطح المياه الشاطئية مع مرور الوقت. وعندما تصبح غير قادرة على تحمل الصخور التي تقع فوقها تنهار بفعل الجاذبية الارضية ويظهر الشاطىء على شكل جرف قائم مرتفع فوق مستوي سطح البحر. شكل (١-٣٠). وبسبب تكرار هذه العملية تراجعا لليابسة وتقدما للبحر وغالبا ما يخلق تراجع اليابسة سطحا ضعيف الانحدار يطلق عليه اسم المصطبة الحتية التي تكون مغطاة بالمواد الحطامية من حصى ورمال ويدعى الجزء الذي يظهر منها فوق



الشكـــل (١-٣٠)

الحت البحري في صخور الشاطـــئ

١- الجرف الشاطئي ٢- الحفرة الحتية ٣- الرسوبـات الشاطئية التحت المائية ٤- الرسوبات الشاطئية التجمعية.

سطح الماء بالبلاج .

ان الحت البحري لايستمر الى مالانهاية، اذ ان الامواج عنـــد اقترابها من الشاطئ تفقد كثيرا من طاقتها نتيجة احتكاكها بأرض المصطبة الحتية التي يصل عرضها احيانا الى اكثر مـن ٢ كم فيتباطأ تراجع الشاطئ ويخف انحداره حتى يأتي وقـت يصبح فيه الحت البحري معدوما تقريبا. ولكن يمكن للحـــت البحري ان يتجدد نتيجة الحركات الرأسية للقشرة الارضيـــة كارتفاع اليابسة مثلا ، مما يؤدي الى انحسار البحر وظهور المصطبة الحتية فوق سطحه وتسمى حينئذ بالمصطبة البحريـة. وهكذا قد تتشكل عدة مصاطب بحرية متتابعة كما هو الحـــال في المصاطب النهرية في حال استمرت اليابسة بالارتفـــاع . وبالتالي فان تعداد هذه المصاطب يرتبط بشكل مباشر بتجدد

اعمال الحت البحري عند طغيان البحر مرة ثانية على اليابسة.

٢- الكهوف: تتشكل الكهوف في الشواطئ الصخرية التي تتميز بوجود فجوات او شقوق او خطوط ضعف فتعمل الامواج في هذه الصخور بنشاط اكبر مما تعمله في باقي الصخور فتتوسع هذه الفجوات تدريجيا نتيجة اندفاع الامواج نحو الشاطئ وضغط الهواء الموجود بداخلها ثم تمدده بصورة فجائية عندما تتقهقر مياه الامواج. وهذا يؤدي الى زيادة حجم الفجوات التي تبدو على شكل كهوف.

٣- الاقواس والمسلات البحرية: تتشكل الاقواس البحرية في الشواطئ التي تمتد فيها اليابسة في هيئة رأس او لسان في البحر فتنحت الامواج في كلا جانبيه كهوفا بحرية جانبية ثم يتصل كل كهفين متقابلين وتتكون فتحة كبيرة يطلق عليها اسم القوس البحري شكل (١-٣١).

وحينما ينهار سقف القوس تبقى نهاية الرأس او اللسان في البحر قائمة على شكل مسلة Stack وتكون قاعدتها اسمك من اطرافها العليا. (شكل ١-٣٢).

٤- التعاريج الساحلية: وذلك اذا كانت الصخور التي تتكون منها الشواطئ متفاوتة في قساوتها ومقاومتها لفعل الامواج. لهذا فاننا نجد ان اغلب الشواطئ الصخرية متعرجة وغير مستقيمة تبرز منها الصخور القاسية في هيئة رؤوس صخرية تتمدد داخل البحر، بينما تتراجع الصخور الرخوة داخل الارض

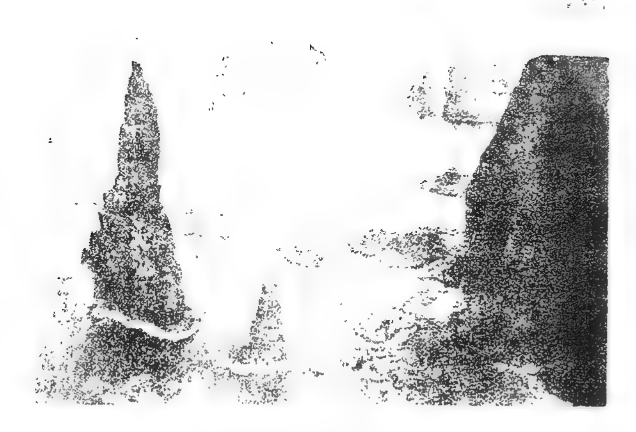
مكونة خلجانا.

الشكل (١-٢١)

الاقـــــواس البحريـــــــة

١-٤-٥ النقل البحري :

تنتقل المواد الحطامية بفعل الامواج والتيارات البحريــــة الساحلية وتيارات المد والجزر. وهذه المواد تأتي من مصـــــادر متعددة. فقسم منها يأتي من الرواسب التي تحملها الانهار التي تصب في البحر وقسم اخر يأتي من الانزلاقات والانهيارات على الجـــروف الشاطئية، كما يأتي قسم آخر من نواتج حت الامواج. ويلاحظ انتشـــار الرسوبات البحرية الحطامية في كل اجزاء قاع المحيط اعتبارا مـــن الشاطئ وحتى الحفر العميقة.



الشكل رقـــم (١-٣٢)

المســــلات البحريـــــة

ان العامل الاساسي والاهم في نقل المواد هو الامواج، فهـــي تدفع بالرواسب نحو الساحل وتسحبها معها حين ترتد الى البحـــر، فعندما تطغى المياه على اليابسة وتجتاز خط الشاطئ، تخف سرعتهـــا بالتدريج حتى تنعدم تماما ويتم اثناء ذلك ترسب حمولتها من حصى ورمال ومواد غضارية، وحين تراجع هذه المياه باتجاه البحر تكـون قد فقدت الكثير من طاقتها فلا تقوى على زحزحة حبات الحصى الكبيـرة التي كانت قد جرفتها اثناء تقدمها ، اما حبات الحصى الصغيـــرة

فتتراجع لمسافة قصيرة والرمال تتراجع لمسافة اطول اما حبيبات الغضار الدقيقة فتبقى معلقة في الماء وتنتقل الى ان تصل الى عمق كبير حيث تفقد المياه قدرتها تماما على الحركة وتتوضع هناك، وبالنتيجة فان ترسب المواد الحطامية في قاع البحر يصبح مرتبا ومصنفا . فالمواد الحطامية الكبيرة تتحرك جيئة وذهابا وقد تترسب موءقتا في مكان ما على القاع بالقرب من الشاطئ،ولكن الامواج ما تزال تتقاذفها فتحتك ببعضها وتطحن ويتضاءل حجمها الى حبيبات دقيقة ،وفي النهاية تترسب على قاع البحر اسفل مستوي تأثير الامواج اما الحبيبات الغضارية الدقيقة فتنتقل بعيدا في عرض البحر وبينهما تتوضع الرمال . الا ان هذه القانونية تتخرب عادة نتيجة التيارات الموضعية. فيلاحظ توضع الحصى اعمق من الرمال والغضاريات وفي بعض الاحيان ترسب الامواج المضطربة او التيارات العميقة المواد الحطامية عند الشاطئ حيث تتشكل تجمعات رسوبية تشكل ما يسمى بالبلاج والالسنة الشاطئية .

وتوءثر في منطقتي الرصيف والمنحدر القاريين تيارات مائية يطلق عليها اسم التيارات العكرة بسبب اختلاطها بالرمال والغضار. كثافة هذه التيارات اكبر بكثير من كثافة المياه المالحة لهذا فانها تكتسب سرعة تبلغ ١٠٠ كم / سا واكثر على المنحدرات المائلة . وهذه التيارات تحت الرصيف والمنحدر القاريين وتشكل كهوف وتجاويف عميقة .كما تنقل الرمال والحصى عبر المنحدر القاري وتوصلها الى اعماق سحيقة ، حيث تشكل مخاريط تجمع كبيرة ، اذ تندفع على القاع . وتبلغ مساحة احد هذه المخاريط المتوضعة في شمال ايسلندا حوالي

... مليون كم[٢] وهي تمتد من عمق ١٠٠٠ وحتى ٤٠٠٠ متر. كما يتشكل في نهاية هذه المخاريط مع الزمن مناطق سهلية عميقة تحتل ١٠ ٪ من مساحة قاع المحيط، حيث تقل في هذه المناطق التيارات العكرة بسبب ترسيبها للمواد التي تحملها.

وعلى اعماق كبيرة تنشأ تيارات مائية تؤثر في المناطق العميقة للبحار والمحيطات نتيجة الفروق في كثافة الكتل المائية التي تملأ هذه البحار والمحيطات. وباعتبار ان كثافة المياه المالحة او الباردة اكبر من كثافة المياه ذات الملوحة المنخفضة او الدافئة، فان المياه الكثيفة تغوص الى اسفل في الاعماق، اما المياه الخفيفة فتصعد الى الاعلى، وهذا بدوره يسبب نشوء تيارات صاعدة او هابطة في اعماق المحيطات، وتبلغ سرعة هذه التيارات حوالي ٢٠ سم/ثا وهي تؤمن بشكل كامل نقل المواد الحطامية ذات القطر اقل من ... مم واقل الموجودة في الماء. وتنشأ نتيجة هذه التيارات ... المحيطة التي تتألف غالبا من المواد الغضارية والرسوبيات الناعمة. كذلك تشارك في عملية نقل المواد الحطامية والسحالية التيارات المائية السطحية حيث تنقل هذه المواد في كل سطح المحيط.

١-٦-٦- الترسيب البحري :

تعتبر البحار والمحيطات احواض تتراكم على قيعانها التوضعات البحرية. وتقسم هذه التوضعات حسب منشئها الى عدة انواع توضعات حطامية (حصى - رمل - غضار) وهي ترد الى هذه الاحواض

نتيجة عمليات الحت البحري بالاضافة الى ما تحمله اليها الانهــــار والرياح والجليديات وعوامل النقل الاخرى، وتوضعات كيميائية تترسب من مياه البحار والمحيطات نتيجة مختلف التفاعلات الكيميائية واخيرا توضعات عضوية تنتج من تجمع قواقع وبقايا الكائنات العضوية .وتشكل التوضعات البركانية (رماد وقنابل ولابا متصلبة) قسما كبيرا مــن التوضعات البحرية ونادرا ما تصادف في هذه الاحواض توضعات جليدية .

تختلف التوضعات الرسوبية البحرية حسب الشروط الفيزيــو- جغرافية للحوض المائي وكذلك حسب البعد والقرب من الشواطئ البحريــة وتقسم هذه التوضعات حسب الاعماق التي تشكلت بها الى :

١- توضعات المنطقة الشاطئية .
٢- توضعات الرف القاري .
٣- توضعات المنحدر القاري .
٤- توضعات الاعماق السحيقة .

١- توضعات المنطقة الشاطئية :

وتشمل جميع التوضعات الرسوبية المتشكلة في منطقة المــد والجزر البحريين. تختلف رسوبات هذه المنطقة عن الرسوبات البحريــة الاخرى بظروف تجمعها وبالتنوع الكبير في تركيبها وثخانتها. ويبلــغ عرضها في الشواطئ المنبسطة بضع مئات واحيانا الاف الامتار، اما فــي الشواطئ الصخرية الشديدة الانحدار فلا يتجاوز عرضها عشرات الامتار.

تتميز توضعات هذه المنطقة بانها حطامية مؤلفة بشكــــل اساسي من الحصى والرمال . ففي الشواطئ الشديدة الانحدار تتوضــــع

الرسوبات الخشنة اما في الشواطئ الضحلة او الضعيفة الانحــــدار فتتوزع الرسوبات الناعمة وفي الاماكن المنخفضة تترسب اوحــــــال غضارية وكربوناتية غنية بالعضويات الحيوانية والنباتية . ويمكـــن ان تتحول هذه النباتات المتراكمة مع الزمن الى طبقات من الفحـــم (التورف) كما تتشكل في هذه المنطقة احيانا مكامن للفلـــــزات المعدنية المختلفة كالمغنزيت والايلمينيت والفولفراميت .

٢ـ توضعات الرف القاري :

تتصف توضعات هذه المنطقة بسماكاتها الكبيرة وبتركيبهـــا المتنوع وذلك نظرا لقرب الرف القاري من اليابسة التي تغذيه دومـــا بالتوضعات الرسوبية التي تتألفبشكل اساسي من نواتج حت الصخــــور الشاطئية والمواد الصلبة التي تنقلها الانهار من اليابسة . ان القسم الاكبر من هذه التوضعات هو حطامي وعضوي المنشأ اما التوضعات الكيميائية فهي ثانوية المنشأ. لقد اظهرت دارسة توضعات الــــرف الحالي ان تركيب هذه الرسوبات على طول شواطئ كل قارة ليس واحدا حيث ان حجم ونوع الحبات المكونة للرسوبات يختلف من رف قاري لآخر.

آـ التوضعات الحطامية :

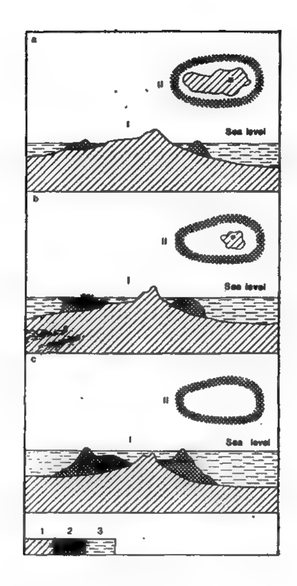
وتتألف بشكل اساسي من الاوحال الغضاريةوالحصى والرمـــال. وهذه المواد تترسب في الغالب بحيث تتدرج بالحجم وتكون الجزئيــات الخشنة والثقيلة قريبة من الشاطئ تليها باتجاه البحر الرواســب الدقيقة.

ب ـ الترسبات العضوية :

وتتألف من اصداف حيوانية بحرية ميتة ، ويسيطر على تركيب هذه الرسوبات العضوية نوع واحد من الاصداف واحيانا عدة انواع ، وكذلك تضم هذه التوضعات بقايا عظمية لكائنات بحرية وبقايا نباتات بحرية ايضا .

وتنتشر في المناطق الاستوائية والمدارية الارصفة المرجانية Coral reefs بشكل كبير حيث تعتبر من اشهر التوضعات الكلسية العضوية التي تغطي مساحات واسعة من منطقة الرف القاري، وتتكون هذه الارصفة المرجانية في ظروف خاصة عند شواطئ بعض البحار التي لا تقل درجة حرارتها من ٢٠ درجة مئوية ولا يزيد عمقها عن ٣٥ متر وذات وفرة بغاز الاوكسجين ومركبات الكالسيوم (بحار مفتوحة) . كذلك فان الحيوانات المرجانية تفضل المياه الصافية الخالية تماما من الحبيبات المعلقة، لذلك فهي لا تنمو في اماكن مصبات الانهار . واذا كانت الارصفة المرجانية قريبة من الشاطئ يطلق عليها اسم الارصفة الشاطئية Fringing reefs ، اما اذا تشكلت في منطقة بعيدة من الشاطئ وتفصلها عنه منطقة لاغونية تسمى بالارصفة الحاجزية Barrier reefs والنوعان السابقان يمتدان بشكل موازللشاطئ . واذا كان شكل الارصفة الحاجزية مستديرا تسمى عندها بالجزر المرجانية المستديرة Atolls .

وقد تحتوي هذه الجزر بداخلها على بحيرات مالحة . وفي بعض الاحيان تظهر هذه الارصفة على سطح البحر . شكل (١-٣٣) .



الشكل(١-٣٢) تشكل الجزر المرجانية

I - مقطع رأسي II- في المستوي a - نمو الارصفة الشاطئية حول الجزيرة b - تحول الارصفة الشاطئية الى ارصفة حاجزية نتيجة غوص الجزيرة c - اختفاء الجزيرة تماما وتحول الارصفة الحاجزية الى جزر مرجانية مستديرة (اتولات) 1 - صخور الاساس • 2- الارصفة المرجانية 3- مياه البحر •

ويعتقد العلماء ان الارصفة الشاطئية التي تنمو تجاه البحر تتحول الى أرصفة حاجزية عندما يهبط القاع الذي عليه الارصفة ببطء نتيجة حدوث حركة على صدع مثلا الارصفة بالنمو. واشهر الارصفة المرجانية الحاجزية المعروفة في العالم هو الحاجز المرجاني العظيم (Great Barrier reef) الذي يمتد امام الشواطئ الشمالية الشرقية لاستراليا ويبلغ طوله اكثر من ١٥٠٠ كيلومترويتراوح عرضه بين ١٥ و ٢٠ كم . وتفصل بينه وبين الشاطئ بحيرة لاقونية يتراوح عرضها بين ٣٠ و ٧٠ كيلومترا وعمقها بين ٢٠ و ٨٠ مترا.

اما بالنسبة لاصل الجزر المرجانية المستديرة فأول العلماء الذين حاولوا ان يضعوا نظرية لشرح مراحل تكونها فهو داروين حيث يعتقد بأن الارصفة الشاطئية والحاجزية والجزر المستديرة تكون ثلاث مراحل متعاقبة في نمو المرجان حول بركان او جزيرة بركانية في حالة هبوط مستمر. وعندما تصبح الجزيرة مغمورة تماما بالماء تتحول الارصفة الشاطئية الى ارصفة حاجزية ثم اخيرا الى جزر مستديرة.

وتبلغ الجزر المرجانية سماكات كبيرة فقد تصل الى عمق ٤٠٠٠ متر واكثر في بعض مناطق المحيط الهادي رغم ان الحيوانات المكونة للمستعمرات لا تعيش الا في اعماق بحدود ٤٠ مترا. ويفسر داروين ذلك بانخفاض الركيزة الصخرية التي ترتكز عليها المرجانيات انخفاضا تدريجيا بينما بعض العلماء يرجع هذه السماكة الكبيرة للارصفة المرجانية الى الحركات التوازنية التي حدثت

عقب العصر الجليدي والتي ادت الى انخفاض مستوى سطح البحر .

جـ التوضعات الكيميائيــة :

وتعتبر هذه التوضعات ثانوية في رسوبات الرف القـــاري، وتشكل المحاليل العادية والفرويــة للاملاح التي تنقلها الانهار مــن اليابسة المصدر الاساسي لهذه الرسوبات وعند التقاء مياه الانهــار بمياه البحار يتم ترسب هذه المحاليل . وتظهر على قاع المحيــط رسوبات غنية باكاسيد الحديد والالمنيوم والمنغنيز وفي البحـــار الدافئة تترسب من المحاليل اوحال كلسية تضم فلزات الكالسيـــت والاراغونيت والدولوميـــت

٣ـ توضعات المنحدر القاري :

تمثل توضعات هذه المنطقة بصفاتها وموقعها مرحلـــــــة انتقالية بين منطقة الرف القاري والمنطقة البحرية العميقة. وهي تتميز عموما بالهدوء النسبي وقلة التأثيرات الميكانيكية التـــي تتضاءل باتجاه العمق ،كما ان ضوء الشمس لا ينفذ الى قاعهـــا . ويميز في هذه المنطقة نوعان اساسيان من التوضعات توضعات حطاميـــة وتوضعات عضوية .

آـ التوضعات الحطامية :

واكثر هذه التوضعات انتشارا الاوحال البحرية وهي عبـــارة من حبيبات حطامية يقل قطرها عن ١٠ر٠ ملم وتصنف حسب الوانها فـــي ثلاثة انواع رئيسية :

١- الاوحال الزرقاء : تغطي هذه الاوحال المنحدر القاري حتى عمق ٣٠٠٠ متر ويمكن ان تبلغ احيانا قليلة ٥٠٠٠ متر،وهي تتألف بشكل اساسي من مواد غضارية وكلسية (بنسبة اقل من ٣٠ ٪) ومن شوائب عضوية . تصادف هذه الاوحال بشكل رئيسي في منطقة البحر الكاريبي والبحر الاسود، وتمتاز برائحة كريهة شبيهة برائحة كبريت الهيدروجين مما يدل على انها قد تشكلت في وسط مرجع فقير بالاكسجين وغني بالمواد العضوية، ويعود اللون الازرق لهذه الاوحال الى انتشار المواد العضوية فيها اضافة الى شوائب من كباريت الحديد، وعندما يكون محتوى المواد العضوية فيها كبيرا فانها تتمتع باللون الاسود .

٢- الاوحال الحمراء : وتصادف بكثرة في المنحدرات القارية لمصبات الانهار الكبيرة كنهر الامازون والتي تنقل من اليابسة كثيرا من المواد الحطامية الغنية بأكاسيد الحديد، وعموما هذه الاوحال اقل انتشارا من الاوحال الزرقاء ويدخل في تركيبها بشكل اساسي المواد الغضارية وحبيبات الكوارتز والكالسيت .

٣- الاوحال الخضراء : وتتألف من الرمال المتوسطة الخشونة اضافة الى المواد الحطامية الدقيقة والمواد الغضارية. وهي تنتشر بكثرة في الاجزاء العليا من المنحدر القاري وهي تتواجد من عمق ٨٠-١٠٠ متر واحيانا حتى ٤٠٠٠ متر، ويعود اللون الاخضر لهذه الاوحال لفلز الغلوكونيت الذي

يتشكل نتيجة تفكك فلزات الصخور الاندفاعية مثل الاوليفين والبيروكسين والامفيبول تحت الماء. كما تحتوي هذه الاوحال على بيوض وحبيبات فوسفاتية .

ب - التوضعات العضوية :

وهي عبارة عن اوحال عضوية المنشأ موظفة بشكل اساسي من قواقع الحيوانات البحرية وخصوصا المنخربيات والطحالب الكلسية والمرجانيات .

واخيرا ضمن توضعات المنحدر القاري يمكن ان تصادف رسوبات بركانية المنشأ وخصوصا بجوار البراكين النشطة.

ج - توضعات الاعماق السحيقة :

وتعتبر هذه المنطقة اكثر اجزاء المحيط بعدا من الشاطئ، وتتألف توضعاتها بشكل اساسي من الاوحال الجيرية والرسوبيات الغضارية الناعمة .

آ - التوضعات الحطامية :

وهي تتألف بشكل اساسي من المواد الغضارية الناعمة بنسبة تزيد على ٧٠ ٪ ،وتأتي الى قاع المحيط عن طريق التيارات المائية السطحية او العميقة، اضافة الى الغبار الذي تنقله الرياح وكذلك المواد الرسوبية التي تنقلها الجليديات الى عرض البحار والمحيطات ويشارك ايضا في تركيب هذه المواد الحطامية بقايا قواقع عضوية

كلسية ومواد الرماد البركاني . وجميع هذه المواد تتعرض في البحار للتفكك والتحلل والاكسدة والتحول الى اوحال حمراء او بنية تدعى بالغضار البحري الاحمر. وقد دلت التجارب على ان سرعة تراكم الاوحال في قاع المحيط هي ١ مم كل الف سنة. تترسب المواد العظامية في العديد من مناطق المحيط الهادي والمحيط الاطلسي على اعماق تتراوح بين ٢٨٠٠ و ٨٠٠٠ متر .

ب – الترسبات العضوية:

وهي عبارة من اوحال عضوية كلسية او سيليسية تشكل القسم الاكبر من توضعات قاع المحيط(منطقة الاعماق السحيقة)

١– الاوحال العضوية الكلسية (الاوحال الغلوبيجيرينية) وتتألف بشكل رئيسي من قواقع المنخربات المجهرية من مجموعة الغلوبيجيرين) والتي مقاسها حتى ١٠ر٠مم . وتعتبر هذه التوضعات من اهم توضعات قاع المحيط حيث تغطي ٤٥ ٪ من مساحته. تنتشر هذه الاوحال على اعماق ٢٥٠٠ – ٤٠٠٠ متر مع غيرها من الاوحال الكلسية الاخرى ولا تصادف بعد هذه الاعماق وذلك لان المياه بعد هذا العمق تصبح فقيرة بكربونات الكالسيوم. فالقواقع ذات التركيب الكلسي تنحل بعد هذا العمق وتحل محلها الاوحال العضوية السيليسية.

٢– الاوحال السيليسية ،وتتألف بشكل اساسي من الهياكل الخفية والقواقع السيليسية للكائنات الحية المجهرية كالشعاعيات والمشطورات اضافة الى قواقع الفورمينيفيرا وبعض المواد

الغضارية.

فأوحال المشطورات يكون لونها ابيضا واحيانا اصفرا وهي تنتشر على اعماق ١٠٠٠-٤٠٠٠ متر واكثر الاوساط ملائمة لانتشارها هي البحار الباردة وهي تشكل ٨ ٪ من مساحة قاع المحيطات .

اما اوحال الشعاعيات فتتألف من البقايا الفقيقية للراديولاريت . وكثواشب في هذه الاوحال تصادف جزيئات الدياتوم والغضار الاحمر. تنتشر هذه التوضعات بشكل اساسي في بحار ومحيطات المناطق الاستوائية على اعماق ٤٠٠٠ - ٨٠٠٠ متر .

جـ التوضعات الكيميائية :

وتتألف من عقد مغنيزية التركيب لا يتعدى قطرها ٢٥ سم اضافة الى بعض المعادن التي ترافقها كالنحاس والكوبالت والنيكل. ويعتقد العلماء ان مصدر هذه المواد هو الانفجارات البركانية التحت سطحية . وتصادف هذه العقد بشكل اساسي في شمال المحيط الهادي عند الشواطئ الغربية لامريكا.

١-٦-٧- اهمية الرسوبات البحرية كمصدر للخامات الفلزية:

في السنوات الاخيرة اصبح العلماء يولون اهمية كبيرة لدراسة واستثمار الثروات الاقتصادية الهائلة الموجودة في المحيطات. فالنفط والغاز الطبيعي والفوسفوريت وغير ذلك من الخامات المعدنية تتوضع مباشرة على قاع المحيط اوتحت هذا القاع على اعماق ليست كبيرة. كذلك تحوي مياه البحار والمحيطات كميات كبيرة جدا من

الاملاح والمعادن المختلفة مثل اللثيوم والموليبدن والنحاس والقصدير واليورانيوم . وتقدر كمية الذهب الموجودة في هذه المياه بحوالي ٥ره مليون طن كما يستخرج حاليا من مياه البحار والمحيطات $\frac{١}{٣}$ الاملاح المستخرجة عالميا اضافة الى ما يرافق هذه الاملاح من الجبس وكلور البوتاسيوم والمغنيزيوم والبروم. فقد تبين انه عند استخراج ملح الطعام كل ١٠ الاف طن منه يرافقها ١٧٣٠ طن من الجبس و٣٧٠ طن من كلور البوتاسيوم و ٢٠٠ طن من المغنزيوم و ٢٦ طن من البروم . وتحتل عملية استخراج اليود من مياه البحر اهمية كبيرة . كذلك تجري في السنوات الاخيرة محاولات حثيثة من قبل اليابان وبريطانيا لاستخراج اليورانيوم من مياه البحار والمحيطات . كما تستخرج في الوقت الحاضر كميات كبيرة من الفحم الحجري عند شواطئ هاتين الدولتين . وهناك اهتمام كبير يوليه العلماء حاليا لاستخراج عقد المنغنيز الموجودة باحتياطي كبير على قاع المحيط الهادي فهذه العقد تحوي على ٢٠ ٪ من المنغنيز و ١٥ ٪ حديد و ٥ر٠ من النيكل والكوبالت والنحاس . وتقدر الكميات الاحتياطية من هذه العقد بحوالي ١٥٠٠ مليار طن . كما تستخدم مياه البحار والمحيطات لاغراض الشرب اذ ان المياه العذبة القارية لم تعد تلبي متطلبات الانسان الحياتية . لهذا تنتشر الان الكثير من محطات تنقية مياه البحر ويقدر عددها فيالعالم باكثر من ١٠٠ محطة .

١-٧- الفعل الجيولوجي للبحيرات والمستنقعات

١-٧-١- مقدمة عامة :

البحيرات هي منخفضات من سطح الارض مملوءة بالمياه العذبة او المالحة، تكون متصلة بوادي نهر من الانهار الذي يزودها بالماء، او قد تكون محصورة ومنفصلة من جميع جهاتها ولا يوجد اي مخرج لمياهها ،تشغل البحيرات حوالي ٢ ٪ من مساحة اليابسة (٢ر٧ مليون كم^{2}) وهي تغطي مساحات كبيرة في بعض البلدان كفلندا حيث تشكل البحيرات ١٥ ٪ من مساحة البلاد، وتتفاوت البحيرات في احجامها من بحيرات صغيرة مساحتها اقل من ١ كم^{2} الى بحيرات كبيرة تغطي مئات الالاف من الكيلومترات المربعة. كذلك تختلف في اعماقها من اقل من ١ متر(كما في بحيرة ايلتون ٨ر٠ متر) الى ١٧٤٠ متر في بحيرة البايكال (اعمق بحيرة في العالم)،اما بالنسبة لارتفاعها فأعلى بحيرة في العالم بالنسبة لسطح البحر تقع في جبال التيبت على ارتفاع ٥٤٠٠ متر واخفضها يقع على عمق ٣٩٢ متر تحت سطح البحر (البحر الميت) .

وتملك البحيرات اهمية اقتصادية كبيرة ،فهي تعتبر مصدرا للمياه العذبة واحواضا لتربية الاسماك ووسطا ملائما لتجمع وتوضع الخامات الفلزية الكثيرة. ويسمى العلم الذي يختص بدراسة ظروف

تشكل البحيرات ونظامها الهيدرولوجي والشروط الفيزيائية التي تحدد تطورها والتوضعات التي تتشكل فيها بعلم البحيرات Limnology .

١-٧-٢- منشأ البحيرات :

ان الاختلاف في احجام البحيرات وتوضعاتها يعود بالدرجة الاولى الى الاختلاف بالظروف المنشئية للتجاويف المملوءة بالمياه وتقسم البحيرات حسب منشئها الى الانواع الاساسية التالية :

١- البحيرات التكتونية :

وتتشكل هذه البحيرات نتيجة الهبوط التكتوني البطيء لسطح الارض ،حيث تمتلىء الاغوار العميقة والمنخفضات الناتجة بسبب هذا الهبوط ، بالمياه . وتمتاز بحيرات هذا النوع بضخامتها واعماقها الكبيرة ومن امثلتها بحيرة البايكال وتانجانيكا في افريقيا والبحر الميت .

٢- البحيرات البركانية :

توجد هذه البحيرات في اماكن انتشار البراكين حيث تشغل فوهات البراكين الخامدة والمناطق المنخفضة على سطح الصبات البازلتية . ويمكن ان تتشكل هذ البحيرات ايضا نتيجة انغلاق الاودية بالصبات البركانية التي تقذفها البراكين اثناء ثوراناتها . تنتشر هذه البحيرات بكثرة في جزر الكوريل واليابان وارمينيا والولايات المتحدة الامريكية .

ج- البحيرات الجليديــة :

تنشأ هذه البحيرات نتيجة الفعل الحتي للجليديات وهــي تنتشر بشكل واسع في المناطق التي كانت مغطاة بالجليديات حتى بدء ظهور الانسان . تتشكل هذه البحيرات في المناطق السهلية والمرتفعات القليلة الارتفاع وامثلتها كثيرة في فنلندا وروسيا البيضاء وغرب سيبريا وغيرها من المناطق . ويمكن ان تعترض المورينات النهائيــة الوادي الذي تنحدر فيه الجليدية ، كسد يحول دون تسرب المياه الناجمة عن الذوبان فتتجمع المياه امام المورينات مكونة البحيرات وتسمى مثل هذه البحيرات ببحيرات السدود الجليدية .

د- البحيرات النهريــة :

وتتشكل هذه البحيرات نتيجة الفعل الجيولوجي للانهــــار كالبحيرات الهلالية التي تنعزل من المجرى الرئيسي للنهر بفعــــل عمليات الحت الجانبي له ، او كبحيرات الدلتات التي تتكون عندمــــا تقتطع التوضعات النهرية جزءا من ماء البحر وتحوله الى بحيـــــرة مغلقة . وتتميز هذه البحيرات عموما بأنها ضحلة ومتطاولة الشكـــل كبحيرات المجاري القديمة لنهر الفولغا والدنيبر والدون وغيرها .

هـ- البحيرات الشاطئيــة :

تنتشر في المناطق الشاطئية للبحار خلف السنة الرسوبيـــات البحرية المتوضعة على طول الشاطئ حيث تفصل هذه الالسنة جزءا مــن مياه البحر عن البحر الاساسي ، ومثالها بحيرات القرم على طول شواطئ

البحر الاسود وبحيرات وشواطىء البلطيق والبحر الابيض المتوسط وغيرها

٦ـ البحيرات الكارستية :

تنشأ هذه البحرات في مناطق نشاط الحت الكارستي حيث تتشكل في المغارات والكهوف الكارستية في الصخور، وتمتاز هذه البحيرات بحجومها الصغيرة كبحيرة التون وبحيرة مغارة جعيتا في القطر اللبناني وغيرها.

٧ـ بحيرات السدود :

وتقسم الى نوعين رئيسيين :

آ ـ بحيرات طبيعية تنشأ بكثرة في المناطق الجبلية حيث تكثر الانهيارات الصخرية فتتجمع الكتل المنهارة احيانا في الاودية المجاورة مشكلة سدا يعترض سير المياه ويؤدي في نهاية المطاف الى تشكل بحيرة حين امتلائه بالماء. وقد تتشكل كما ذكرنا اعلاه بفعل الصبات البركانية او التوضعات الجليدية التي تعترض الوديان مشكلة حاجزا تتجمع خلفه المياه.

ب ـ بحيرات اصطناعية : يقوم الانسان ببنائها لاغراض كثيرة كالري وتوليد الكهرباء كبحيرة الاسد على سد الفرات في القطر العربي السوري .

١-٧-٣- النظام الهيدرولوجي للبحيرات :

يتحدد نظام البحيرات الهيدرولوجي بالشروط المناخية السائدة في المنطقة وبعلاقتها مع انهار المنطقة وكذلك بالتركيب الكيمياوي للصخور المحيطةبالبحيرة . فالظروف المناخية تنعكس بشكل واضح على التركيبالملحي لمياه البحيرة ،بينما الانهار تحمل مختلف اشكال المواد الرسوبية الى البحيرات التي تصب فيها .

وتصنف البحيرات وفقا لشروطها الهيدرولوجية في نوعين اساسيين بحيراتجارية وبحيرات غير جارية .

١- البحيرات الجارية :

وهي البحيرات التي تصرف مياهها في احد الانهاروتتلقى مياهها من نهر آخر مثل بحيرة البايكال التي تتلقى تغذيتها من مياه نهر سيليفينا وتصرف مياهها عن طريق نهر انغارا الذي يبدأ منها . وتتواجد هذه البحيرات عادة في المناطق ذات المناخ الرطب ومياهها في معظم الحالات عذبة .

٢- البحيرات غير الجارية :

وتفتقد هذه البحيرات لحركة الجريان وهي لا تتلقى مياههما ولا تصرفها عن طريق الانهار ،وانما تتم تغذيتها عن طريق مياه الامطار وذوبان الثلوج والجليد وتخسر مياهها بفعل التبخر والرشح لباطن الارض مثل بحر قزوين وبحيرة البلخاش واسيك كول وغيرها ،وتكون مياه

هذه البحيرات عادة مالحة وهي تميز المناطق الجافة ونصف الجافة .

ويتغير منسوب المياه في البحيرات بصورة مستمرة ويتعلق هذا التغير بشكل اساسي بالظروف المناخية وبطبيعة صخور المنطقة . ففي المناطق المعتدلة يكون التغير طفيفا وموسميا . ويكون كبيرا في حالة وقوع البحيرات في مناطق صخورها ذات نفوذية جيدة ، بينما يكون التغير قليلا في البحيرات الواقعة في مناطق ذات صخور كتيمة .

ان اغلب البحيرات في العالم تفتقد الى حركة الجريان، ما عدا البحيرات الجارية والاحواض القارية الكبيرة حيث تلاحظ حركة كتل الماء على شكل تيارات مد وبعض الامواج غير الكبيرة والتيارات التحت مائية . ففي بحر قزوين على سبيل المثال ترفع تيارات المد منسوب المياه عند الضفاف حوالي ٣ سم ،بينما يبلغ ارتفاع الامواج حوالي ٢-٣ متر،وكذلك ترصد تيارات تحت مائية دائرية على طول ضفافه ،وفي بحيرة البايكال يغير المد منسوب المياه حوالي ١ سم ، وبينما يكون ارتفاع الموج اقل مما هو عليه في بحر قزوين .

وعند قليل من البحيرات يمكن ان يلاحظ حركات مياه مشابهة لتيارات المد والجزر تسمى مثل هذه الحركات بحركات سيشز تنشأ هذه الحركات عن تغيرات الضغط الجوي وتتلخص في نقل الماء من احد اطراف البحيرة الى الطرف الآخر مع زيادة غير كبيرة في منسوب المياه عند هذا الجانب (بضعة سنتمترات فقط) .

٢-٧-٤- التركيب الكيميائي لمياه البحيرات :

يعتمد التركيب الكيميائي لمياه البحيرات على عوامل عديدة من اهمها نوعية الصخور المحيطة بالحوض المائي للبحيرة والشروط المناخية السائدة .

فالبحيرات المتوضعة في مناطق ذات مناخ جاف وحار تكون عادة مالحة او شديدة الملوحة وتنتشر هذه البحيرات بكثرة في آسيا الوسطى في جمهورية كازاخستان وعلى شواطئ البحر الاسود . وتعود اسباب ملوحة هذه البحيرات كما ذكرنا سابقا الى التسرب المالحة المحيطة بها . فالمياه السطحية ومياه الامطار تحل الاملاح وتنقلها الى البحيرات لتزيد بذلك ملوحة هذه البحيرات . اما بعض البحيرات كبحيرة التون على سبيل المثال فتعود اسباب ملوحتها الى توضعها مباشرة على توضعات مالحة .

اما في المناطق الرطبة فتكون مياه البحيرات عادة عذبة وحتى المياه الموجودة داخل البحار في ظروف مناخية كهذه تتحول بالتدريج الى مياه عذبة ويوضح ذلك بزيادة التيارات المائية الواردة الى حوض هذه المياه نتيجة هطول كميات كبيرة من الامطار وذوبان الثلوج . وهكذا تحولت في فترات زمنية ماضية مياه بحيرتي لادوجسكي واونيجسكي المالحة الى مياه عذبة وحاليا لا تزيد ملوحتها عن ٠٫٠٣ ٪ .

وتقسم مياه البحيرات حسب درجة ملوحتها الى : بحيرات

عذبة ملوحة مياهها اقل من ١غ/ل، بحيرات شديدة الملوحة نسبة الاملاح في مياهها اكثر من ١ وحتى ٢٥ غ/ل ،وبحيرات شديدة الملوحة وتبلغ نسبة الاملاح في مياهها اكثر من ٢٥ غ/ل.

وتصنف البحيرات المالحة والشديدة الملوحة وفقا للعالمين كروتوف وكورناكوف الى الانواع التالية :

١- بحيرات مياهها غنية بكربونات الكالسيوم $CaCO_3$ (البحيرات ذات المنشأ البحري).

٢- بحيرات غنية بالجبس $CaSO_4\ 2H_2O$

٣- بحيرات غنية بكبريتات المغنزيوم .

٤- بحيرات كلور - مغنزية تحتوي على $CaSO_4$ ، $MgCl_2$ ، $NaCl$

٥- بحيرات كلور - كلسية مشبعة ب $CaSO_4$ ، $MgCl_2$ ، $CaCl_2$

٦- بحيرات صودية تحتوي على Na_2SO_4 ، $MgSO_4$ ، $NaCl$

٧- بحيرات هيدروكربوناتية $Mg(HCO_3)_2$ ، $Ca(HCO_3)_2$

تتغير ملوحة مياه البحيرات في الاتجاهين الافقي والشاقولي، فبالقرب من مصبات الانهار تكون الملوحة اقل ما يمكن تزداد في وسط البحيرة، وكذلك فان المياه المشبعة بالاملاح تستقر في الاعماق اما المياه السطحية فتكون نسبة الاملاح فيها قليلة جدا.

ان الدراسة المفصلة لتاريخ تكون البحيرات يظهر ان مصير اغلبها زائل لا محالة، فمثلا في المناطق الصحراوية والحارة تفقد البحيرات من مائها نتيجة التبخر اكثر بكثير مما يتسرب اليها من مياه الامطار ،وبعد مدة من الزمن تجف وتترك وراءها رواسب الاملاح،

اما في المناطق الغزيرة الامطار فتكون كمية السيول والانهار التي تصب في البحيرة كبيرة وتحمل هذه السيول والانهار معها الرمال والطين بكميات كبيرة توضعها فيالبحيرة ومع الزمن يمتلىء قاعهما بهذه الترسبات وتتحول الى سهل تخترقه الانهار في وديان ضيقة ومحصورة. وهناك بعض البحيرات التي تظهر وتختفي على مرأى عيني الانسان .

١-٧-هـ الفعل الجيولوجي للبحيرات :

يبدأ الفعل الجيولوجي للبحيرات منذ لحظة امتلاء حوض البحيرة بالماء وهو يشبه كثيرا الفعل الجيولوجي للبحار والمحيطات ولكنه اقل شدة وتأثيرا منه ويتضمن ما يلي :

آ- الحت البحيري :

ان حت وتحطيم صخور البحيرة يعود بالدرجة الاولى الى فعل الامواج التي يصل ارتفاعها في بعض البحيرات الى عدة امتار ويتعلق العمل الحتي بشكل اساسي بانحدار الشاطىء وطبيعة صخوره والمواد المفتتة الموجودة في البحيرات . ويسبب الحت تراجعا للشاطىء بمعدل بضعة امتار في السنة. فعلى سبيل المثال تراجعت شواطىء بحيرة سيلجيان على نهر الدانوب خلال الفترة ١٩٥٢-١٩٥٦ ٥٠ مترا. وهكذا يحدث توسيع رقعة البحيرةعلى حساب اليابسة.

ب- الترسيب البحيري:

تتألف الرسوبات البحيرية بشكل اساسي من :

١ـ الترسبات الحطامية :

وتأتي بالدرجة الاولى من المواد اللحقية التي تنقلهـــــا الانهار الى البحيرات ومن عملية حت الشواطئ وتراكــــــم الرسوبيات الخشنة المختلفة المقاييس في منطقة الحـــــت الشاطئي ،واما المواد الناعمة والدقيقة فتنتقل الى قاع البحيرة حيث تترسب هناك بشكل طبقات قليلة الثخانة تتراوح ثخانتها بين اجزاء المليمتر وبضعة سنتمترات .

٢ـ الترسبات الكيمياوية :

تكون المواد الرسوبية الكيمياوية غنية بالاملاح المختلفة ومركبات الحديد والمنغنيز واحيانا الالمنيوم . وهي تنشأ من الترسيب الكيمياوي للاملاح او الغرويات المنحلة فـــي مياه البحيرة . ويتم ترسيب هذه الاملاح بالترتيـــب حسب قابلية انحلالها بالماء . فالاملاح الصعبة الانحلال تترسب اولا تليها الاملاح الاكثر انحلالا .

٣ـ الترسبات العضوية :

تشكل العضويات الحيوانية والنباتية التي تعيش فـــي البحيرات ،مصدرا مهما واساسيا من مصادر الرسوبيـــات البحيرية . فالكثير من البقايا العضوية تتحول اثنـــاء عملية تحللها وتفككها الى اوحال عضوية غنية بمـــادة الدبال تتحول مع مرور الزمن الى بعض انواع فحم الطورب ان نسبة كل نوع من الترسبات البحيرية الانفة الذكر الى

الاخرى ليست واحدة بالنسبة لجميع البحيرات ، ويمكن تفسير ذلك بأن كل بحيرة تتميز بتوضعات رسوبية خاصة بهـــا ، ومرتبطة بالوضع الجغرافي والمناخي وغيره من العوامل .

فمثلا في البحيرات ذات المنشأ البركاني تسيطر التوضعات الرسوبية الكيماوية المنشأ، اما في البحيرات التـــي تتلقى تغذيتها من مياه الانهار الجبلية فتكون غنية بالمواد الحطامية مثل بحيرات البلخاش واسيك كول وغيرها . وفـــي البحيرت عديمة الجريان وذات المناخ الحار فتنتشر بشكـــل اساسي الرسوبات الكيمياوية المنشأ مثل الهاليت والجبس والانهدريت بينما في البحيرات ذات المناخ الرطب فتغلب رسوبات الحديد والمنغنيز والالمنيوم .

وبسبب الاختلافات الكبيرة في تركيب توضعات بحيرات المناطق الجافة والرطبة قسمت هذه التوضعات الى نوعين اساسيين : توضعات البحيرات العذبة وتوضعات البحيرات المالحة .

توضعات البحيرات العذبة :

وتتلقى هذه البحيرات مياهها او تصرفها عن طريق الانهار وتتميز بكثرة وتنوع المواد الحطامية فيها ، اما المواد العضويـــة والكيمياوية فهي ثانوية في توضعاتها .

وتتوزع المواد الحطامية في البحيرات وفق ترتيب منتظم ، ففي المناطق الشاطئية تتوضع الرسوبات الخشنة مثل الحصى والحصباء

والرمال ، وفي الاعماق تتوضع المواد الغضارية الناعمة . ويظهر هذا بشكل واضح في بحر قزوين وبحر الآرال وبحيرة لادوجسكي وغيرها . ان الحدود بين التوضعات الخشنة والناعمة في بحر قزوين تقع على عمق ١٥-٢٠ متر اما في بحر الآرال فبين ٥-١٠ متر وفي بحيرة البلخاش تقع هذه الحدود على عمق ٢ متر .

وفي الاجزاء المركزية من المجمعات المائية الكبيرة تتوضع اوحال عضوية كلسية او سيليسية مؤلفة من هياكل مفصية واصداف الدياتوم والفومينيفيرا والبقايا النباتية الكلسية. فالاوحال العضوية السيليسية توجد بكثر في قاع بحيرة البايكال . اما الاوحال العضوية الكلسية فتوجد في بحر الآرال وبحيرة البلخاش . وتصادف ضمن الاوحال الكربوناتية رسوبات كيميائية دولوميتية وبيوض كلسية (اوليتية) قطرها لا يتجاوز ١٠ مم . حيث تنتشر هذه البيوض بكثرة في بحر الارال وتتوضع على اعماق ٥-٢٦ متر . وضمن التوضعات الكيميائية للبحيرات العذبة تنتشر بكثرة اكاسيد وكربونات الحديد والمنغنيز والالمنيوم ، حيث تتراكم هذه التوضعات عادة في وسط البحيرة وفي بعض الاحيان تتواجد هذه التوضعات مقترنة مع الاوحال الغضارية والعضوية . وبعض هذه التوضعات توجد بشكل عقد اوليتية. وتنتشر الاوحال الحديدية بكثرة في البحيرات والمستنقعات المنتشرة في روسيا البيضاء وفي البحيرات البركانية لجزر الكوريل .

وتتميز بحيرات المياه العذبة الصغيرة في المناطق الرطبة بسماكات كبيرة من الرسوبات العضوية ذات رائحة عفنة . ان المادة الاولية لهذه الاوحال هي الكائنات العضوية الحيوانية والنباتية

التي تعيش في هذه البحيرات كالاشنيات والطحالب بالاضافة الـــــى العضويات الحيوانية المعلقة ، حيث تسقط بقاياها بعد موتها الـــى قاع البحيرة مختلطة مع الاوحال الفضارية ومشكلة اوحالا عضوية تسمى بالسابروبيل .

وتبدأ البقايا العضوية المستقرة في القاع بعد ذلك بالتحلل من الهواء الجوي وتلعب البكتريات اللاهوائية الدور المهم في تفكك المادة العضوية اذ تأخذ الاوكسجين الداخل في تركيب المــــــادة العضوية نفسها وتحولها الى فحوم هيدروجينيــة .

توضعات البحيرات المالحــة:

وتتميز مياه هذه البحيرات بدرجة عالية من الملوحة ويعود ذلك بشكل اساسي الى :

- المحاليل الكيميائية التي تنقلها مياه الامطار مــــن الاراضي المجاورة للبحيرة .
- المناخ الجاف الذي يؤدي الى التبخر الشديد وبالتالي الوصول الى اشباع زائد للمياه وتشكيل مياه شديـــدة الملوحة .
- غياب تيارات المياه العذبة الدائمة .

ويبدأ بشكل عام ترسيب الاملاح مع زيادة التبخر اي مــــع بداية الفصول الحارة للسنة، الا انه يلاحظ ترسيب بعض الاملاح في فصل الشتاء وذلك لان انخفاض درجة الحرارة يؤدي الى انخفاض درجــــا

الاشباع . فأملاح الصودا مثلا وبخلاف الاملاح السولفاتية والكلوريدية تترسب عندما تنخفض درجة الحرارة الى الدرجة - ٥ وعندما يكون تركيز الاملاح اكثر من ١٠ ٪ اما الجبس وملح الطعام فيترسبان في الاوقات الدافئة من السنة .

وفي البحيرات المشبعة بالاملاح تترسب الكربونات اولا ثم الكبريتات وعندما يقل حجم الماء في البحيرة يبدأ كلور الصوديوم بالترسيب تليه الاملاح الاكثر قابلية للانحلال بالماء والتي تركيبها اكثر تعقيدا ، اما في بحيرات المناطق القليلة الملوحة فتترسب منها بشكل رئيسي كربونات الكالسيوم والمغنزيوم (الكالسيت والدولوميت) او بعض توضعات الحديد والالومنيوم .

١-٧-٦- تشكل المستنقعات والتوضعات المستنقعية :

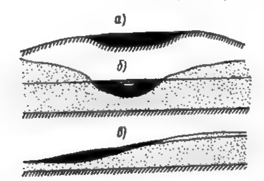
المستنقعات هي عبارة عن اجزاء من سطح الارض تتميز برطوبة عالية وبنمو غزير للنباتات المستنقعية التي تتراكم فيها بعد موتها مشكلة بذلك توضعات من التورف (فحم الطورب) . ان الجزء الكبير من المستنقعات تشكل من البحيرات حيث تمثل هذه المستنقعات المرحلة الاخيرة من تطور البحيرات . ففي الاجزاء الضحلة من البحيرات تتشكل ادغال من النباتات ، وعند موت هذه النباتات تسقط على القاع وتتعرض للتحلل البطيء وتشكل طبقات التورف ، وبمقدار نقصان عمق البحيرة تنتقل هذه النباتات تدريجيا عن الشاطىء الى المركز .

وفي البحيرات الراكدة ذات الشواطىء الشديدة الانحدار

تتشكل على سطح مياهها نباتات طافية تشكل غطاءً عائماً ويمقـــدار زيادة سماكة هذا الغطاء يغوص تدريجيا وتبدأ الاجزاء الميته مـــن الطبقات السفلى منه بالتحلل والسقوط الى قاع البحيرة مشكلــــة طبقات رسوبية ومع مرور الزمن يصبح سطح البحيرة مغطى بغطـــاء نباتي سميك وقاعها مغطى بسماكات كبيرة من الاوحال العضوية ويتشكل بالنهاية المستنقع .

تبلغ المساحة الكلية لمستنقعات اليابسة ٧٥ر١ مليون كـم²

وهي تقسم وفقا لظروف التوضع والتغذية وصفات النباتات الى ثلاثـــة انواع رئيسية . شكل (١-٣٤).



الشكل (١-٣٤) يوضح انماط المستنقعـــات

a ـ المستنقعات العالية .

b ـ المستنقعات المنخفضة .

C ـ المستنقعات الانتقاليـة .

آ ـ المستنقعات المنخفضة: وتتشكل في الاجزاء المنخفضة مـــن اليابسة ، التي كانت تشغلها البحيرات الدلتاوية والجليديـــة وبحيرات الانهار القديمة تملك هذه المستنقعات سطحا مستويا او مقعرا . وتشارك في تغذيتها بالاضافة الى مياه الامطـــار

كلا من مياه الانهار والمياه الجوفية . وتنمو في هذه البحيرات النباتات المحبة للرطوبة التي تغطي البحيرة تدريجيا معلنة بذلك بدء تحول البحيرة الى مستنقع ، ثم تسقط النباتات بعد موتها الى القاع مشكلة طبقات من الثورف ، وتتميز طبقات الثورف في تلك المستنقعات بقدرة حرارية منخفضة وبكمية قليلة من الرماد المتبقي .

ب- المستنقعات العالية : وتتوضع في الاماكن المائية المرتفعة والمنحدرات الجبلية ، اي على الفواصل المائية ، تتلقى هذه المستنقعات تغذيتها بالكامل تقريبا على حساب مياه الامطار وهي تملك سطحا محدبا . مياهها فقيرة بالمواد الغذائية ، لذلك تنمو فيها النباتات فقيرة التغذية . وتكون طبقات الثورف المتشكلة من هذه النباتات ذات قدرة حرارية نوعية عالية وفقيرة بالرماد المتبقي .

جـ- المستنقعات الانتقالية : وتحتل امكنة وسطى بين مستنقعات النوعين السابقين . وتنمو فيها نباتات متوسطة التغذية حيث تحتاج الى كمية قليلة من المواد الغذائية .

يتمثل الفعل الجيولوجي للمستنقعات بشكل خاص في عمليات الترسيب وتتألف التوضعات المستنقعية بشكل اساسي من رسوبات عضوية وكيمياوية المنشأ . وتحتل التوضعات العضوية مكان الصدارة ، اما التوضعات الكيمياوية فهي ثانوية المنشأ وتتمثل بالكلس والمارن وبعض فلزات الحديد كالسيديريت $FeCO_3$ والفيفيانيت $Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$ Vivianite . ويأخذ فحوم التورب اهمية كبيرة

بالنسبة للتوضعات المستنقعية الاخرى وهو ينشأ من تفسخ النباتات التي تنمو فيها ،حيث يتحول مع الزمن وبفعل عوامل التحول الى فحم حجري .

١-٧-٧- دور البحيرات والمستنقعات في تشكيل مكامن الخامات المفيدة :-

تملك البحيرت اهمية اقتصادية كبيرة فهي تعتبر مصدرا للمياه العذبة واحواضا لتربية الاسماك ومن جهة نظر جيولوجية تعتبر البحيرات والمستنقعات اوساطا ملائمة لتجمع الخامات الفلزية الكثيرة والاملاح المختلفة .

فغضار الكاولينيت ذو المنشأ البحيري يتمتع بنوعية جيدة حيث يستخدم لانتاج الخزفيات والاوعية المقاومة للحرارة ، اما الرمال البحرية فتستخدم على نطاق واسع للصناعات الزجاجية . وفي البحيرات المالحة تتوضع املاح البوتاسيوم والجبس والملح الصخري والصودا وغيرها ،حيث تشكل مكامن اقتصادية كبيرة في روسيا البيضاء وسيبريا والاورال . وفي بحيرات كازاخستان وسيريا الغربية تستثمر توضعات الصودا والميرابليت ، اما في بحيرات الولايات المتحدة الامريكية وتشيلي والارجنتين فتستخرج املاح البور . ويوجد في توضعات المستنقعات والبحيرات رسوبات معدنية كثيرة تشكل خامات لهذه الفلزات مثل خامات الحديد .

الا ان التورفيعتبر من اكثر الخامات المفيدة انتشارا في توضعات البحيرات والمستنقعات ويستخرج من اراضي دول الكمنولث

المستقلة (الاتحاد السوفياتي السابق) حوالي ٦٠ ٪ من التـــــورف المستخرج عالميا من هذه التوضعات ويستخدم التورف لتوليد الطاقة الحرارية وفي التسميد وانتاج بعض المنتجات الكيميائيـــة مثـــل البارافينات والقطران .

واخيرا ظهرت اراء كثيرة تعتبر ان بقايا العضويات فـــي البحيرات والمستنقعات تشكل مصدرا رئيسيا من مصادر تشكل النفـــط. فالنفط هو سائل زيتي قاب للاحتراق لونه بني مع ظلال خضراء واحيانـا يكون لونه اسودا وهو يتركب كما هو معروف من ٨٥ ٪ من الفحم و ١٤٪ من الهيدروجين و ١ ٪ من العناصر النادرة. وتعود الفحـــــــوم الهيدروجينية المشكلة للنفط بشكل اساسي الى الكائنات البحريـــة الدقيقة مثل البلانكتون والاشنيات والمواد العضوية الدبالية التـي تنتشر في مياه البحيرات . وتلعب البكتريا اللاهوائية دورا كبيـــرا في تحول هذه المواد العضوية الى فحوم هيدروجينية.

١ - ٨ - النتائج الجيولوجية لفعل العمليات الخارجية

ترتبط العمليات الجيولوجية الخارجية ببعضها البعض وهي تمتلك ملامح عامة مشتركة كما توجد بينها فوارق واختلافات . فالصفة العامة لمجمل هذه العمليات هي انها جميعها تؤدي الى تحطيم الصخوروتساعد على تشكل الرسوبات ، ويظهر الاختلاف في اتجاه هذه العمليات ومدتها ومقياس ظهورها ، واكثر ما يظهر هذا الاختلاف بشكل واضح وجلي هو بين العمليات التي تحدث على اليابسة وتلك التي تحدث في البحار.

فعلى اليابسة تتطور بشكل كبير عمليات الحت والنقل التي تؤدي في نهاية المطاف الى انخفاض سطح الارض . بينما على قاع المحيطات تسيطر عمليات الالتحام التي تقود الى املاء الفجوات الموجودة بالرسوبات كذلك فان الرسوبات القارية ذات حجوم محدودة نسبيا وهي تقود بشكل اساسي الى التضاريس المنخفضة كوديان الانهار والمنخفضات البحرية والمنخفضات بين الجبلية ،وظروف تشكلها يخضع للظروف المناخية السائدة. اما في المحيطات التي تزيد مساحتها كثيرا عن مساحة اليابسة بأكثر من مرتين فتتجمع الرسوبات في كل مكان تقريبا . وهنا تركيب الرسوبات وسمكها يتوافق مع عمق قاع المحيط . وتخضع التوضعات البحرية ايضا للظروف المناخية.

ان سماكة التشكيلات الرسوبية تحدد مدى استمرارية
... ت الجيولوجية الخارجية ،فخلال مليون سنة تراكمت على قاع
المحيطات كميات كبيرة من الرسوبات بلغت سماكتها مئات
الاف الامتار. فالعمليات الجيولوجية الخارجية ما زالت تشارك في
تشكيل القشرة الارضية منذ اكثر من اربعة مليارات سنة . وخلال تاريخ
... القشرة الارضية الطويل تغيرت اوضاع القارات والاحواض المائية
كثيرة كما تغيرت الظروف المناخية . وكل دور جيولوجي اعطى
... في تشكيل التوضعات الرسوبية وانتشارها .

٤-١- الدياجينيز : Diagenesis

تخضع الرسوبات المتراكمة على قاع البحار والمحيطات
او على سطح اليابسة (في الانهار والبحيرات والمستنقعات) منذ
اللحظة الاولى لاستقرارها الى تبدلات فيزيائية وكيميائية او
بيوكيميائية تقود الى اعادة تشكل هذه الرسوبات الرخوة وتحويلها
الى صخور صلبة وتسمى هذه العملية بالدياجينيز . ويشمل الدياجينيز
عمليات الرص والللحام واعادة التبلور .

تجري عمليات الدياجينيز المذكورة اعلاه بنفس الوقت
ولكن نسبيا دور كل منها في تشكيل الصخور يتغير مع الزمن ويظهر
في شدات مختلفة . ففي الاوساط المائية (البحار والمحيطات) التي
تتوضع فيها اكثر من ٩٠٪ من التشكيلات الرسوبية تتعرض الرسوبات
لتغيرات كيميائية وفيزيائية . والدور الاساسي والكبير في عمليات
اعادة التشكل الكيميائي تلعبه عملية انحلال الفلزات الضعيفة

الثبات كالهاليدات والكربونات . كذلك تلعب المتعضيات دورا كبيرا في التغيرات الكيمياوية للفلزات الاولية فبعضها يحل المادة العضوية مسببا ظهور غاز ثاني اوكسيد الكربون وغاز كبريتيد الهيدروجين وبالتالي تخريب كيمياوية وسط الترسيب وبعضها الآخر يشارك مباشرة في تفاعلات الاكسدة والارجاع .

-التراص :

ويسمى عملية انقاص حجم الرسوبات الاولية تحت تأثير ثقل الطبقات المتوضعة فوقها ويحدث في النتيجة اعادة تبلور ونزع مائية ولصاق للمواد الرسوبية .

ان هذه التغيرات التي تحدث نتيجة عمليات الرص تتعلق بدرجة كبيرة بالتركيب الاولي للرسوبات وبشكل وحجم حبات هذه الرسوبات وبالعمليات التكتونية . فمثلا الرمل الكوارتزي يلتحم بدون اي تغيير ملحوظ في تركيب وحجم الرمال . بينما الاوحال الكربوناتية ذات الحبات الصغيرة يحدث لها بسرعة اعادة تبلور مع تشكل بلورات كبيرة من الكالسيت ، كذلك تتغير نتيجة عمليات الرص الخصائص الفيزياوية بشكل حاد وذلك بسبب نقصان المسامية .

- اللحام (اللصاق)

ويتجلى ذلك في املاء الفراغات بفلزات مترسبة تربط اجزاء الرسوبات بعضها ببعض ،ويمكن ان تحدث هذه العملية اثناء تشكل الرسوبات نفسها او في مرحلة لاحقة . واللصاق هو الطريقة العادية

لاكساب الحجر الرملي الصفة الصخرية. فالحجرالرملي السيليسي مثـــلا هو بالاصل رمال قديمة التحمت مع بعضها البعض بمادة سيليسيــــة ثانوية ويمكن ان تكون المادة اللاحمة إكاسيد حديد او كربونـــات او فوسفات او غيرها.

اعادة التبلـور

يحصل للرسوبات الاولية تحت تأثير ضغط الطبقات المتوضعـــة فوقها اعادة تبلور . وتنشأ هذه العملية نتيجة ميـــل الفلـــزات غير الثابتة الى الانتقال الى حالة اكثر ثباتا. فمثلا القواقـــع المؤلفة من فلز الارغوانيت تتحول الى كالسيت .

وتتعلق درجة تغير الرسوبات اثناء عمليات الدياجينيـــن بتركيب هذه الرسوبات ومدى استمرارية تأثير العوامل الخارجيــة وبالخواص الفيزيائية – الكيميائية والترموديناميكية لوســـط الترسيب . ان اهمية عمليات الدياجينيز كبيرة جدا في تشكيـــل الصخور الرسوبية والطبقات الرسوبية للقشرة الارضية. وبفضل اعـــادة نتشار المواد الرسوبية نتيجة عمليات الدياجينيز يحدث تركيـــز لخامات المفيدة وتشكل مكامن للحديد والمنغنيز والالمنيوم والكبريت والفوسفوريت والفحم وغيرها.

۱-۸-۲- البيئات الترسيبية :

تعطي الصخور الرسوبية صورة واضحة عن البيئات الترسيبيـة التي تكونت فيها هذه الصخور فلون الصخور الرسوبية ونوعها وحجـــم

صفاتها ونسيجها والمسحات التي توجد فيها ترتبط بعلاقة متينة مع شروط الوسط الذي تتمثل عناصره بعمق وتركيب المياه والمواد الرسوبية والمسافة بين مصدر هذه الرسوبات واحواض ترسيبها والظروف المناخية السائدة عند الترسيب . وبشكل عام تصنف هذه البيئات في ثلاثة انواع رئيسية :

آ- البيئات البحرية .
ب- البيئات القارية .
جـ- البيئات اللاقونية .

آ- البيئات البحرية : وتقسم الى اربعة انواع وفقا لعمق توضع الرسوبات وهي :

١- البيئات الشاطئية : وتقع عند التقاء البحر باليابسة . تتصف توضعاتها بأنها موءلفة من حبات متوسطة الى كبيرة (توضعات خشنة) .

٢- البيئات النيريتية : وتقع فوق منطقة الرف القاري وتمتاز باحتوائها على توضعات خشنة مع بعض الاشنيات الكلسية والمرجانيات والطحلبيات .

٣- البيئات العميقة : وتقع هذه البيئات على المنحدرات القارية ورسوبات هذه البيئات في اجزائها العليا رقيقة ويزداد سمكها باتجاه نطاق الاعماق السحيقة . وتتكاثر في هذا النطاق كائنات عضوية قاعية وسابحة .

٤- البيئات البحرية السحيقة : وتسود في نطاق الاعماق السحيقة اي على عمق يزيد عن ٤٠٠٠ متر ورسوبات هذا

النطاق عبارة عن اوحال فضارية وكلسية وسليسية.

ب ـ بيئات الترسيب القارية : وتصادف في الاجزاء المنخفضة من سطح اليابسة وفي الاحواض المائية القارية ، وبشكل عام تقسم هذه البيئات الى نوعين اساسيين :

١ـ البيئات الترسيبية للاحواض القارية: وهي مناطق منخفضة داخل المساحات القارية تتراكم فيها الرسوبات بكميات كبيرة ومعظم الرسوبات التي تتكون في هذه البيئات تعتمد طبيعتها على الشروط المناخية السائدة واحيانا على طبيعة النشاط التكتوني للمنطقة مثل حالة الرسوبات الناتجة من النشاط البركاني .

٢ـ البيئات الترسيبية للاحواض المائية القارية : وتنتسب الى هذه البيئات البيئة النهرية وبيئة البحيرات والمستنقعات.

تنتشر البيئة النهرية على طول مجاري الانهار القديمة والحديثة وتختلف طبيعة الرسوبات النهرية حسب اختلاف الظروف التي تمر بها الانهار اثناء تقدمها من المناطق الجبلية (المنبع) وحتى المصب في البحار وهي تتراوح ما بين الجلاميد والحصى والرمل والطين.

اما بيئة البحيرات والمستنقعات فتملك اشكالا توضع عديدة وسماكاتها ليست كبيرة نسبيا. وتتألف رسوبات البحيرات غالبا من مواد ناعمة رمال وغضار واوحال ومتبخرات بالاضافة الى بعض البقايا العضوية. اما المستنقعات فتتميز بأنها بيئات المياه الراكدة

ويكونها مليئة بالنباتات وبالرسوبات اضافة الى كونهـا بيئـ... ـة للحشرات والاسماك والطيور المائية والطحالب .

جـ بيئات الترسيب اللاغونية: وتتشكل فيها صخور رسوبية ذات منشـأ كيميائي مثل الحجر الكلسي والدولوميت والملح والجص فاللاغونـات توضعـاتهـا القارية قريبة بتركيبها من الرسوبات البحريـة ولكنها تختلف عنها بغياب الغلاكونيت والفوسفوريت والتوضعـات الخصية. وضمن التوضعات اللاغونية تصادف الفاونا وبقايا الاسمـ... وحيوانات قشرية وغيرها .

ويمكننا ان نستنتج نوعية العامل الذي قام بعملية نقـل الرسوبات وترسيبها اعتمادا على نوعية هذه الرسوبات . فالمـواد المنقولة بواسطة الجليديات تتميز بأحجامها واشكالها المتباينـة . ما المواد المنقولة بواسطة الرياح والمياه فيظهر عليها الـ... من حيث الحجم والشكل . فعندما تنخفض سرعة الرياح والمياه تقـ... فيها طاقة الحمل والنقل فترسب المواد الكبيرة والخشنة اولا امـا الاجزاء الناعمة والصغيرة الحجم فتحمل الى مسافات بعيدة جدا فـي مياه البحار والمحيطات .

١-٥-٣- الباليوجغرافيا والخرائط الجغرافية القديمة :

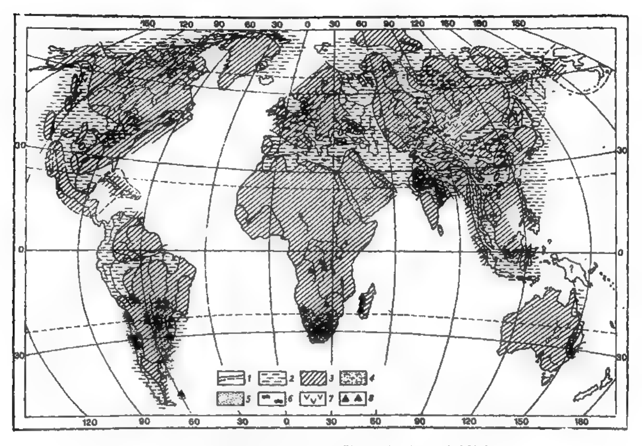
ان دراسة نوعية الرسوبات والتغير في سمـك الوحـدات الصخرية والتباين في احجام حبيبات الرسوبات فيها تساعد في تكوين فكرة واضحة عن المحيط او البيئة التي تم فيها الترسيب وكنتيـجة

لذلك يمكن اعادة تشكيل الجغرافية القديمة.

وكنتيجة لهذه الدراسة يمكننا انتعرف على مواقع المحيطات والبحار التي كانت موجودة في الماضي على سطح الارض كما انها تساعدنا في التعرف على مواقع البحيرات والمستنقعات وغيرها من الامكنة المغطاة الآن بهذه الرسوبيات . كذلك يمكننا ان نتعرف على المناخ الذي كان سائدا في هذه المناطق قبل عشرات او مئات الملايين من السنين وذلك من خلال المستحاثات الحيوانية والنباتية التي تحويها هذه الرسوبيات .

يبين الشكل(٥٠-٢) الخريطة الجغرافية القديمة للكربوني حيث تظهر عليه حدود القارات والبحار ومناطق تراكم الفحم والتوضعات الجليدية ومناطق ظهور النشاط البركاني .

وهذه المعطيات تخولنا ان نستنتج انه في نهاية مرحلة الفحم الحجري في الجزء الشمالي من الكرة الارضية كان المناخ دافئا ورطبا في اغلب المناطق اذ تدل على ذلك توضعات الفحم الحجري. اما في الجزء الجنوبي فقد كان المناخ قاسيا وباردا ويدل على ذلك التوضعات الجليدية المكتشفة في جنوب افريقيا واستراليا والهند. وفي مناطق الاورال وكازاخستان وسيبريا الشرقية وغيرها من المناطق فيظهر نشاط بركاني . ان الخرائط الجغرافية القديمة تملك اهمية معرفية وتطبيقية ،فبواسطتها يمكننا ان نحدد مناطق الامل لاكتشاف الخامات المفيدة.



الشكل(١-٣٥) الخريطة الجغرافية القديمة.لاواخر الكربوني

ا- الحدود بين اليابسة والبحر 2 - البحر 3- اليابسة
4- تناوب الظروف القارية والبحرية 5- مناطق تراكم
الرسوبات القارية 6 - مناطق تراكم توضعات الفحم .
7- مناطق ظهور النشاط البركاني 8- مناطق تراكم
التوضعات الجليدية

٢ - العمليات الجيولوجية الداخلية

٢-١- النشاط المغماتي

٢-٢- التحول

٢-٣- التشوهات التكتونية

٢-٤- الهزات الارضية

- مقدمـــة -

بعد أن استعرضنا في الباب الاول العمليات التي تسيطر على سطح الارض والتي تؤدي الى تغييرات مستمرة في سطح القشرة الارضية بفعل عوامل الحت والنقل والترسيب ، سوف نبحث في هذا الباب العمليات التي تتطور في أعماق الارض والتي تسمى بالعمليات الجيولوجية الداخلية .

وتعتبر الحرارة الداخلية المصدر الاساسي لطاقة هذه العمليات فانتشارها غير المتجانس في طبقات الليتوسفير تؤدي في بعض أجزائه الى تغيير الخواص والتركيب والبنية للصخور الاولية (عمليات التحول)، بينما تقود في بعض أجزاء الليتوسفير الاخرى الى عمليات الانصهار وتشكل الصاعما. كذلك تؤدي الطاقة الحرارية الضخمة الى تحرك القشرة الارضية حيث تتغير نتيجة ذلك أوضاع هذه الصخور وتظهر الكثير من الشقوق والفوالق . وتهيء الحركة الظروف لانتقال المواد من بعض أجزاء الارض الى أجزائها الاخرى فالمصاهير الصهارية تتحرك عبر الشقوق باتجاه الاعلى حاملة المواد العميقة نحو السطح . وبشكل عام فان العمليات الجيولوجية الداخلية تتجلى بالظواهر التالية : البراكين والتحول والتشوهات التكتونية والزلازل .

=====

٢-١- الحادثة المهلية

تعتبر الحادثة المهلية من أهم العمليات الجيولوجية الداخلية التي تلعب دورا كبيرا في تشكل القشرة الارضية ، فحوالي (٩٥ ٪) من صخور القشرة الارضية تشكلت بفضل هذه العملية. والحادثة المهلية عملية جيولوجية معقدة تتضمن ولادة أو نشوء المهل (الماغما) في طبقة الاستينوسفير أو النطاقات السفلى في القشرة الارضية ومن ثم توزعها في النطاقات العليا من القشرة الارضية لتشكل الصخور الصماتية بأنواعها المختلفة .

والماغما أو المهل هي عبارة عن محاليل عالية الحرارة للسيليكات والاكاسيد وبعض الابخرة والغازات المنحلة، ففي تركيب المهل تسود العناصر الكيمياثية الرئيسية التي تدخل في تركيب صخور القشرة الارضية مثل الاوكسجين ، السيليس ،الالمنيوم، الحديد ،الكالسيوم ،المنغنيز ،البوتاسيوم ،الازوت . الا أن الماغما تختلف عن تركيب الصخور بأنها تحتوي على مواد سهلة التطاير مثل أبخرة الماء ، المواد الكبريتية ، كلور الامونيوم ، الهيدروجين وغيرها . وبفضل الضغط العالي الذي يوجد في باطن الارض تخفض المواد الطيارة لزوجة المهل وتزيد حركتها وفعاليتها الكيمياثية مع الصخور المحيطية. وتبلغ نسبة الموادالطيارة في المهل (١٢ ٪).

٢-١-١- أسباب نشوء المهارة المغماتية (المهل) :

تتشكل البوءر المغماتية وفقا للفرضيات الحديثة بطريقة الانصهار الدوري لمواد القشرة الارضية أو المعطف في مناطق محددة نتيجة تغير الظروف الترموديناميكية أي الحرارة والضغط، فكما هو معروف تزداد درجة حرارة الارض مع العمق وتبلغ ١٣٠٠ - ١٥٠٠ درجة مئوية على عمق حوالي ١٠٠ كم . وفي مثل هذه الدرجة من الحرارة يتحول أي صخر الى مصهور اذا كان الضغط مساويا للضغط الجوي . الا أن الضغط المسيطر على هذا العمق يبلغ آلاف الميكاباسكال وهذا يعني بأنه يزيد بشكل كبير درجة حرارة انصهار الصخور معيقا بذلك تحول هذه الصخور الى الحالة السائلة . وعند تخريب هذا التوازن في هذا الجزء من القشرة الارضية أو ذاك ، وبالدرجة الاولى عند انخفاض الضغط وزيادة درجة الحرارة يظهر تحول لمواد القشرة الارضية في هذه الاجزاء الى الحالة السائلة وهذا يقود بدوره الى نشوء بوءر مغماتية أولية . وتتشكل هذه البوءر المغماتية الاولية عادة في الاجزاء السفلى من القشرة الارضية أو في الجزء العلوي من المعطف والمسمى بالاستينوسفير .

ان أكثر الظروف ملاءمة لانقاص الضغط تنشأ بفعل العمليات التكتونية المشكلة لحقل اجهاد تكتوني معقد أو غير متجانس ،والذي يوءدي في بعض الحالات الى تخريب استمرارية الوسط، وبما أن أكثر الحركات التكتونية شدة تظهر في حدود الجيوسينكلينال ، فمن الطبيعي أنه خصوصا في هذه الوحدات البنائية للقشرة الارضية نشطت الحادثة المهلية في الماضي وتنشط في الوقت الحاضر. أما زيادة

درجة الحرارة والتي يمكن أن تقود بدورها الى انصهار صخور القشرة الارضية في بعض الاماكن وبالتالي تشكيل بوءر مغماتية ، فهي تتعلق بمختلف أنواع العمليات الفيزيائية - الكيميائية التي تترافق بافراز الطاقة وأهم هذه العمليات في الوقت الحاضر هي عملية تفكك العناصر المشعة الموجودة في باطن الارض .

ووفقا لوجهة نظر بعض العلماء فان توليد أو نشوء بوءر مغماتية يتم باستمرار في الجزء العلوي من الاستينوسفير. وتتعلق حركة الصهارة المغماتية نحو الاعلى أولا بالضغط الهيدروستاتيكي وثانيا بالزيادة الكبيرة للحجم الذي ينجم عن تحول المادة الى الحالة السائلة .

٢-١-٢- مظاهر الحادثة المهلية :

لقد ذكرنا أعلاه بأن المهل المنصهرة هي عبارة عن طور موءلت (سائل) ضمن القشرة الارضية لمواد تقع تحتها. ينشأ هذا الطور عندما تندفع المواد الواقعة تحت طبقة القشرة الارضية (في طبقة الاستينوسفير) الى أماكن ذات ضغط أقل ، حيث تتجمع داخل جيوب أو فراغات موجودة في القشرة الارضية .

وتتحرك الماغما داخل القشرة الارضية نتيجة لعدم ثبات هذه القشرة وتحرك أجزائها بفعل الحركات التكتونية المولدة للجبال والتي توءدي الى اعتصار الماغما من الامكنة التي يزيد فيها الضغط الى الامكنة ذات الضغوط الاقل ، لذلك تتجه تحركاتها نحو السطح حيث يتوفر الضغط الادنى ويساعد على حركتها ضغط الغازات

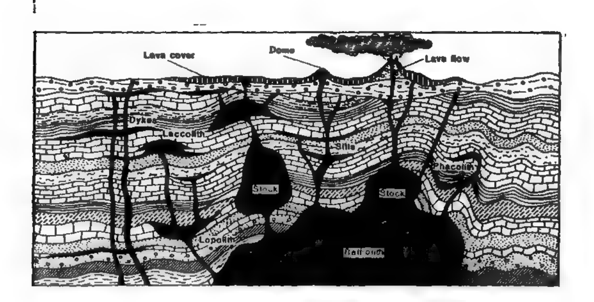
والابخرة المحتبسة فيها واحتمال انعهارالطبقة الغطائية فيهـا . وعندما تصل الماغما الى سطح الارض تقذف بشكل حمم مصهورة (لابـات) من فوهات البراكين وترافق هذه اللابات سحب من الابخرة والغـازات والمواد البركانية الصلبة. أو أن الماغما تتصلب على أعمـاق متباينة من سطح الارض وتبقى في هذه الاعماق وبالتالي تبعا لذلك يمكن أن نميز بين شكلين من أشكال الحادثة المهلية هما الحادثة المهلية الداخلية (الاندساسية) والحادثة المهلية التدفقية (البركنة) .

٢-١-٢-١- الحادثة المهلية الاندساسية :

وتعرف بأنها مجموعة العمليات الجيولوجية المتعلقـة بنشاط المصهارة المغماتية وصعودها من باطن الارض وتبردها ببطء ، وتصلبها ضمن طبقات القشرة الارضية قبل أن تصل الى سطحها مشـكلة بذلك أجساما مغماتية مختلفة الاشكال تسمى بالتوضعات الاندساسية .

ان شكل الاجسام المندسة المتشكلة وصفات تماسها مع الصخور المحيطة يتعلق بمكيانيكية توزع المصهارة المغماتية وبالصـفات الفيزيائية للصخور المحيطة وللمصهارة المغماتية بحد ذاتها .

تختلف الاجسام المندسة كثيرا فيما بينها حسب مقاييسـها وأشكالها وظروف تشكلها وعلاقتها مع الطبقات المحيطة بها وقربهـا أو بعدها عن سطح الارض . الا أنه اصطلح بشكل عام على تمييز نوعين رئيسيين من الاجسام المندسة حسب العلاقة مع الصخور المحيطـة الشكل (٢-١) .



الشكل (٢-١) : أشكال توضع الاجسام المندسة

آ- الاجسام المندسة المتوضعة بتوافق مع الصخور المحيطة وأهمها :

١- اللاكوليتات : Laccoliths

وهي أجسام مندسة تتصف بسطح علوي محدب وسفلي مستوي نسبيا تتصل به قنوات تغذية. ويكون شكل اللاكوليتات بالمستوي دائري ، تتراوح أقطارها من مئات الامتار وحتى بضعة كيلومترات. وتتشكل اللاكوليتات عادة عند توضع الماغما الحامضية ذات اللزوجة العالية ضمن طبقات القشرة الارضية ، وبسبب لزوجتها العالية لا تستطيع ان تنتقل لمسافات بعيدة وتتجمع في مكان واحد. وتدفع اللاكوليتات الطبقات الرسوبية التي تعلوها نحو الاعلى وتجبرها على التحدب.

٢- اللوبوليتات : Lopoliths

وهي أجسام مندسة تتوضع بين الطبقات الصخرية في الطبقات المقعرة متخذة شكل الصحن . تتألف اللوبوليتات على الغالب من صخور أساسية وتتمتع أحيانا بحجوم ضخمة ومثالها لوبوليت بوش فيلد Bush field في جنوب أفريقيا الذي يزيد طوله عن / ٣٠٠ / كم .

٣- الفاكوليتات : Phacoliths

وتتميز هذه الاجسام المندسة بأنها ذات مقاييس صغيرة نسبيا ، لها أشكال عدسية تتوضع في مفاصل الطيات المحدبة أو المقعرة .

٤- الجدران المتوازية أو السدود الافقية : Sills

يتشكل السد الافقي نتيجة توضع المهل على شكل أشرطة بين الطبقات الرسوبية وبشكل مواز لها . ويضغط هذا السد على الطبقات من فوقه فيرفعها الى الاعلى بمقدار يماثل سمكه وكمثال نموذجي على هذه السدود هو سد هوين Whin في وسط انكلترا وتبلغ مساحته / ٤٨٠٠ كم٢ / .

ب - الاجسام المندسة المتوضعة بعدم توافق مع الصخور المحيطة .

ونميز ضمنها الاجسام التالية :

١- الباتوليثات : Batholiths

وهي أكثر الاجسام المندسة ضخامة وتحتل مساحة تبلغ عشرات حتى مئات الكيلومترات المربعة . ولها أشكال غير منتظمة . تتوضع هذه الاجسام في أعماق القشرة الارضية وهي تتألف من صخور غرانيتية التركيب .

ان الاجزاء السفلى لهذه الاجسام لاتملك حدودا واضحة دائما، وغالبا ماتكون متصلة مع البؤر المغماتية . وقد أظهرت الدراسات الجيوفيزيائية في السنوات الاخيرة أن سماكة الكثير من الباتوليثات لاتزيد عن ٥ – ١٠ كم . وهي تصادف في مناطق السلاسل الجبلية العظمى . ونظرا للتوضع العميق للباتوليثات فانها تتبرد ببطء شديد مما يساعد على تشكل بلورات فلزية خشنة مميزة لصخور الاعماق . ومن أكثر الباتوليثات شهرة الباتوليت الموجود في أمريكا الشمالية الذي تبلغ مساحته / ١٦٠ / ألف كم٢ حيث يبلغ عرضه / ٨٠ / كم وطوله / ٢٠٠٠ / كم . وتعتبر أجسام الباتوليت المندسة بمثابة الاساس الصخري للكتل القارية . وقد نشأت منذ عصور جيولوجية سحيقة في القدم تراكمت عليها فيما بعد الصخور الرسوبية التابعة للازمنة الجيولوجية اللاحقة .

٢- الستوكات : Stoks

أجسام مندسة غير منتظمة، غالبا مايكون لها شكل اسطواني، مساحة مقطعها لاتزيد عن ١٠٠ كم٢، فاذا زادت عن ذلك اعتبرت أجساما باتوليتية. تتوضع الستوكات في مناطق تقاطع مختلف التشوهات

التكتونية وهي تتألف من صخور مختلفة التركيب من الحامضية وحتى الفوق أساسية وتعتبر الستوكات في أغلب الحالات فروعـــــــــا للباتوليثات الضخمة وتسمى ستوكات باتوليثية ، وهي تتبـــرد ببطء أيضا وينشأ عنها بلورات فلزية خشنة ولكنها أقل خشونة من بلورات الباتوليثات .

٣- الجدران القاطعة أو السدود الرأسية :

وتنشأ نتيجة امتلاء الشقوق العمودية والمائلة ، الموجودة ضمن طبقات القشرة الارضية ، بالصهارة المغماتية . وهي تتألــف من صخور مختلفة التركيب وتتوضع عادة بشكل مجموعات وتختلــف بمقاييسها بشكل كبير . وأكثر الدايكات ضخامة هو الدايـــك الموجودفي زيمبابوي الذي يمتد علىطول ٥٤٠ كم وبسماكة وسطية مقدارها / ٥/ كم .

٢-١-٢-٢- الحادثة المهلية المخترجة :

تتضمن الحادثة المهلية المخترجة مجموعة العمليــــات والظواهر المتعلقة بحركة الصهارة المغماتية وصعودها الى السطح ومن ثم تدفقها بشكل حمم منصهرة (لابات) وأبخرة وغازات، وتلعب الحادثة المهلية المخترجة دورا رئيسيا وهاما في تغيير معالمسطح الارض حيث تؤدي الى تشكل الصخور الاندفاعية كما ترافقها ظواهـــر جيولوجية أخرى كالزلازل والينابيع الحارّة وغيرها .

تظهر الحادثة المهلية المخترجة على اليابسة وفي البحار

والمحيطات والبراكين الاخيرة بعضها يغمر بالكامل بالمياه والبعض الاخر يرتفع فوق منسوب المياه مشكلا جزر بركانية كجزر الكوريل ان أكثر المناطق ملائمة لنشاط الحادثة المهلية المخترجة هي مناط. التشوهات التكتونية حيث تؤدي حركة الكرة ال... الشقوق والفوالق التي تصل البؤر المغماتية بالسطح ويتشكل نتيجة ذلك نمطين من البراكين : نمط مركزي عندما يحدث تدفق اللابا من خلال فتحة مركزية تسمى فوهة البركان الى السطح شكل(٢-٢) .

ونمط آخر شقي يتم فيه تدفق اللابا على السطح من خلال شقوق ذات امتدادات وكبيرة في القشرة الارضية يتشكل بنتيجتها صبات بازلتية سميكة شكل (٢-٣) .

شكل (٢-٣) النمط الشقي

شكل (٢-٢) النمط المركزي

ففي عام ١٨٧٣ تدفقت اللابا في ايسلندا من شق طوله / ٣٢ / كم وشكلت غطاء بازلتي على مساحة مقدارها ٥٥٧ كم٢ .

ان الاكثرية المطلقة للبراكين الحديثة تنتمي الى النمط المركزي، أما النمط الشقي فقد ساد أثناء العصور الجيولوجية القديمة حيث كانت قشرة الارض أرق وأقل سمكا منها في العصر الحالي ، مثل الصبات البازلتية لشرق سيبريا التي تشكلت

- في الميزوزوي .

تنتشر البراكين على سطح الارض بشكل منفرد أو بشكل سلسلة ممتدة على طول الشقوق .* وتختلف البراكين بمقاييسها وشكلها وبنية الفوهة والقناة البركانية . ان الشكل النهائي الذي تأخذه البراكين هو مخروط بركاني يتعلق ارتفاعه بعمر البركان وبظروف ثورانه . فكلما كان البركان قديما كلما كان مخروطه أكبر . ويتراوح ارتفاع المخروط البركاني بين بضعة مئات وحتى ٥ ـ ٦ آلاف متر. فبركان فيزوف يبلغ ارتفاعه ١١٨٦ متر وبركان اثينا ٣٥٢٢ متر.

واذا كانت الثورانات البركانية شديدة، تتطور على جوانب المخروط البركاني الرئيسي مخاريط بركانية طفيلية تسمى بالمخاريط الثانوية ويكون عددها كبير في بعض الاحيان ، اذ تبلغ عدة مئات ويبلغ عددها في بركان ايتنا على سبيل المثال ٣٠٠ مخروط بركاني ثانوي .

ان شكل المخروط البركاني نادرا مايكون منتظما، فقد تزول قمة المخروط البركاني بالتعرية أو قد تتهدم جزئيا نتيجةالثورانات البركانية الشديدة وتشكل حفرة كبيرة دائرية الشكل تدعى (كالديرا) تحيط بها جدران شديدة الانحدار وقاعها مسطح، وكثيرا مايتشكل داخل الفوهة المتهدمة مخروط جديد ويطلق في هذه الحالة على البركان الاصلي اسم البركان المزدوج وحسب نشاط البراكين تكون اما نشطة تثور دوريا حتى وقتنا الحاضر ويمكن أن تتابع نشاطها في المستقبل أو تكون بائدة اختفى نشاطها ولم تبد مايشير الى

تجددها خلال التاريخ الانساني . الا أن تقسيم البراكين الى براكين نشطة وأخرى بائدة يعتبر شرطيا لدرجة كبيرة ، حيث أنه لايمكننا أن أن نجزم بشكل قطعي على أن هذه البراكين البائدة ستعاود نشاطها خلال فترة ما، فقد تستمر فترة خمود البركان عشرات الالوف من السنين حسب رأي العالم الفرنسي تازييف ومثل هذه البراكين معروفة بكثرة عبر التاريخ . فمثلا بركان فيزوف لم يكن معروفا حتى عام ٧٩ ميلادية . فقد عاش الناس بجواره حياة هادئة وفي عام ٧٩ ميلادية حدث انفجار مروع أصبح مشهورا عبر التاريخ حيث قضى على مدينتي هرقليا وبمباي بالكامل وهلك مايزيد على ٢٤ ألف نسمة، ثم عاود نشاطه عام ١٦٣١ ، ١٧٩٤ ، ١٨٧٢ ، ١٩٠٦ ، ١٩٤٤ .

آ- مراحل النشاط البركاني وأنواعه :

ان التنوع الكبير في النشاطات البركانية يعود بالدرجة الاولى الى التركيب الكيمياوي للصهارة المغماتية ونسبة الغازات الموجودة فيها اضافة الى الظروف الجيولوجية والترموديناميكية لمناطق النشاط البركاني .

فكما ذكرنا سابقا يسبق حدوث الانفجار البركاني تسخين للبؤر المغماتية وتغلغل الماغما ضمن طبقات القشرة الارضية ويتجلى هذا بهزة داخلية خفيفة لاتلبث أن تزداد شدتها عند اقتراب الصهارة المغماتية من سطح الارض. وتؤدي الطاقة الشديدة المتحررة عند حدوث الثوران البركاني الى تحرير القناة البركانية من اللابة والمواد الاخرى الموجودة فيها ، كما أنها تؤدي في بعض الاحيان الاخرى الى تشكيل شبكة من الشقوق في جسم البركان أو

فتؤدي الى تخريب المخروط البركاني بالكامل . وتنطلق الغـــازات في البداية من خلال هذه الشقوق وبعدها تسيل اللابا البركانيـــة وأخيرا المقذوفات الصخرية . وتستمر هذه العملية عدة ساعات وأحيانا عدة شهور مشكلة دورة نشاط بركانية ، ومثل هذه الدورات البركانيـة تتكرر باستمرار .

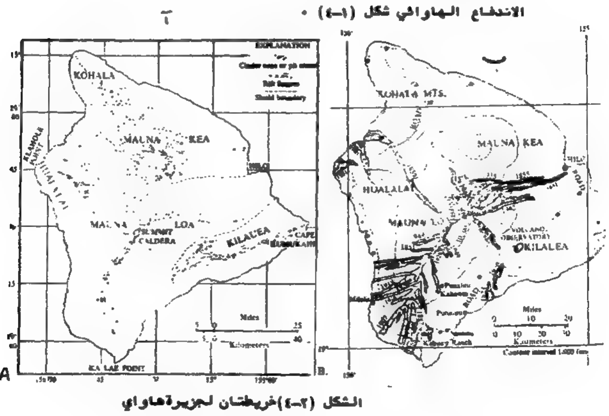
وفي كل دورة من هذه الدورات نميز ثلاثة أطوار رئيسية :
الطور الاول ويتصف بحدوث هزات أرضية يتبعها قذف غازات وشـظايـا بركانية ، أما الطور الثاني فيتم فيه قذف اللابا البركانية وفـي الطور الثالث تحدث ظواهر مرافقة لحدوث البراكين تصف ســلوك هذه البراكين في فترة مابين الثورانين البركانيين . ومن المحتمل أن تتباين مرحلة من مراحل النشاط البركاني في كثافتها أثنـــاء الثوران البركاني الواحد أو أثناء الثورانات المتتالية وهـــذا يتعلق بمدى قوة الثوران أوبكمية المواد المنبثقة من البركان .

وبشكل عام حسب تركيب الصهارة المغماتية والـظـــروف الجيولوجية نميز بين نمطين رئيسيين من البراكين هما :

ا- البراكين الدرعية :

وتتوزع هذه البراكين بشكل خاص على الشقوق والسلاســل الجبلية المغمورة في قاع المحيطات حيث تساهم في بناء القشـــرة المحيطية . تنطلق من هذه البراكين لابا بازلتية وهي قليلة اللزوجة ، تنساب بهدوء وقد تبلغ هذه الانسيابات الهادئة سماكات كبيرة وتغطي مساحات واسعة . ولقد سميت هذه البراكين ببراكين الدروع لان الماغما

السائلة تبني منحدرات بسيطة الميل تشبه السطوح
ومثال ذلك درع بركان ماونالوا Maunaloa في جزر الهاواي حيث يبلغ قطره عند القاعدة ١٠٠ كم ويبلغ ارتفاعه من قعر المحيط الهادي ٩٠٠٠ متر وارتفاعه عن مستوى سطح البحر ٤٠٠٠متر، وقد استمر تطور هذا الدرع مليون عام. وتخرج اللابا منه على هيئة أعمدة ضخمة رائعة تبدو على شكل نافورات نارية متوهجة ترتفع الى بضع عشرات من الامتار على طول فالق الانبثاق وهي تبدو في هيئة جدار هائل من النار المتوهجة. وقد تكونت جزر الهاواي من مثل هذا النوع من الاندفاع الهاوائي شكل (أ-٤) .



الشكل (٢-٤)خريطتان لجزيرة هاواي

آ- تظهرحدود البراكين الخمسة المكونة للمنطقة ومخاريط الرماد البركاني

ب - تظهرانسيابات اللابا حتى عام ١٩٥٠ (المناطق السوداء) .

٢- البراكين المركبة أو المتطبقة :

وهي جبال بركانية مرتفعة ذات ميول كبيرة وقد سميت بالبراكين المركبة لانها تتشكل من تجمع المواد الحطامية النارية مع اللابة، واللابا المتحررة من هذه البراكين أنديزيتة .

تغطي اللابا العادة الحطامية النارية مشكلة بذلك الهيكل الذي يمكن الجبل البركاني من النمو . وتكون اللابا هنا أكثر لزوجة بحيث تسد فوهات البراكين من وقت لاخر باللابا المتصلبة، وهذا يوءدي الى تجمع ضغط الغاز حتى يصبح أكبر من قوة السداد فيتسبب في انفجارات كبيرة أوصغيرة وكلما زادت لزوجة الماغما، تصبح الاندفاعات المتفجرة أكثر عددا وتدميرا .

ينتشر هذا النمط من البراكين خصوصا في مناطق السلاسل الجبلية الجيوسينكلينالية العائدة للحقب الثالث ولايزال بعضها نشيطا حتى الوقت الحاضر .

ب - نواتج البراكين :

يخرج من البراكين حين ثورانها ثلاثة أنواع رئيسية من المقذوفات البركانية هي مواد غازية ، مواد سائلة ومواد صلبة وتعلك دراسة هذه المواد أهمية كبيرة فبواسطتها يمكننا التعرّف على تركيب وصفات المواد المكونة للطبقات العميقة من الكرة الارضية .

١- النواتج الغازية :

تخرج من البراكين أثناء ثوارنها كميات كبيرة من الابخرة والغازات والتي تتابع تدفقها حتى بعد هدوء البركان . فالغازات الداخلة في تركيب المهارة المغماتية تنفصل عنها بمجرد اقترابها من السطح وتسبقها وتنطلق من سطح الارض . ونتيجة التمدد السريع للغازات تتشكل فوق البركان سحابات هوائية مختلفة الاشكال . وان الارتفاع الذي يبلغه صعود هذه الغازات نحو الاعلى فوق البركان يتعلق بقوة ثوران البركان. فعند الثورانات البركانية العنيفة كثوران بركان كراكاتاو يبلغ الارتفاع الذي تبلغه المقذوفات البركانية حوالي ٨٠ كم . الا أن السحابة الغازية لاترتفع دائما نحو الاعلى ، ففي بعض الاحيان تتمدد على سطح الارض مسببة بذلك تدميرا كبيرا .

ويبلغ حجم الغازات المنطلقة من نشاط بركان واحد في بعض الاحيان ملايين الامتار المكعبة أما درجة حرارة الغازات فهي تتراوح بين ٦٠٠ و ٨٠٠ درجة مئوية في أماكن خروجها على السطح . وأكبر قيمة لدرجة الحرارة كانت مسجلة في زمن انفجار بركان باريكوتين Paricutin في المكسيك ، اذ بلغت درجة حرارة الغازات ضمن اللابة ١٠٨٠ درجة مئوية وفي مكان خروجها على السطح ٨٩٠ درجة . ويعتبر الماء من أهم المكونات الغازية البركانية وهو يتسرب من البراكين بشكل أبخرة ، وقد أظهرت الدراسات أن نسبة بخار الماء ضمن النواتج الغازية التي تقذفها البراكين حوالي ٦٠ - ٩٠ ٪ أما الجزء الباقي من النواتج الغازية فيتألف بشكل أساسي من :

CO_2 ,NH_4 ,SO_3 ,H_2S,B ,F, Br,C;CH_4 ;N ;Cl .H

وغيرها من الغازات .

ان تركيب الغازات المنطلقة من مختلف البراكين ليس واحدا فمثلا عند ثوران بركان هيكل في ايسلندا عام ١٩٤٧ تم طرح ٢/٣ مليون م٣ تقريبا من بخار الماء، أما بركان باتوفوخو في أندونيسيا فقد كانت الغالبية العظمى من نواتجه الغازية (٩٧ ٪) من غاز الفحم .

وبشكل عام تصنف النواتج البركانية الغازية حسب تركيبها الكيميائي ودرجة حرارتها في المجموعات الاساسية التالية :

آ- النواتج الغازية الجافة :

وتكون خالية تقريبا من أبخرة المياه أو تحتوي على كمية قليلة جدا منها، تبلغ درجة حرارتها ٥٠٠ درجة مئوية أو أكثر وهي غنية بأملاح كلور الصوديوم والبوتاسيوم وكلور الحديد والفلوريدات.

ب- النواتج الغازية الحامضية :

وتترافق هذه النواتج بالابخرة وتبلغ حرارتها ٣٠٠ - ٤٠٠ درجة مئوية وهي تحتوي على حمض الكبريت وكلور الماء .

ج- النواتج الغازية القلوية :

تبلغ درجة حرارة هذا الغازات حوالي ١٨٠ درجة مئوية وهي تتألف بشكل رئيسي من كلوريد الامونيوم اضافة الى بخار الماء .

د- السلفاتار : Solfatara

وهي نواتج غازية تتراوح درجة حرارتها بين ١٠٠ و ١٨٠ درجة مئوية ويدخل في تركيبها بشكل أساسي غاز كبريت الهيدروجين H_2S

هـ - الموفيت : Mofette

وهي عبارة عن نواتج غازية درجة حراتها أقل من ١٠٠ درجة مئوية تتألف بشكل أساسي من غاز ثاني اوكسيدالكربون CO_2

٢- النواتج البركانية السائلة :

وهي عبارة عن اللابة التي تتألف من مواد سيليكاتية مصهورة وملتهبة تشبه في تركيبها الى حد كبير تركيب المهل أو الماغما الا أنها تختلف عنها بأنها تفقد ماتحويه من الغازات والابخرة حين تنساب على سطح الارض .

وتتوقف خواص اللافا ومظهرها وكذلك طبيعة الصخور التي تنشأ منها بعد تصلبها على عدة أمور أهمها : التركيب الكيميائي للصهارة السيليكاتية التي تنبعث منها اللابة وخصوصا نسبة SiO_2 حيث تقسم اللابة حسب هذه النسبة الى ثلاثة أنواع رئيسية هي : اللابة الحامضية والمتوسطة والاساسية . فاللابة الحامضية والمتوسطة (الليباريتية والانديزيتية) تمتاز بخفتها وألوانها الفاتحة (الرمادية أوالمحمرة) تبلغ حرارة هذه اللابة عند السطح ٧٥٠ - ١٠٠٠ درجة مئوية وهي تتصف بلزوجة عالية وسيولة قليلة

وغنية بالغازات وتبلغ سرعتها حوالي ه كم /ساء وعند خروجها من الفوهة تتصلب بسرعة مشكلة تلوح بركانية قصيرة ذات سطوح كتلية أو مسلات أو قبب بركانية . أما اللابة الاساسية وفوق الاساسية (البازلتية والبيكريتية) الفقيرة بالسيليس والغنية بالمواد الحديدية - المغنزية فتبلغ حرارتها عند السطح ۲۲۰۰ درجة مئوية وهي ذات ألوان داكنة (رمادية داكنة أو خضراء أو سوداء) وتحتوي على نسبة قليلة من الغازات ، كذلك تتصف بلزوجة قليلة وسيولة عالية وتتأرجح سرعتها بين ۱۰ - ۳۰ كم/سا وهي تنساب على مسافات شاسعة مشكلة طفوح وصبات بازلتية ذات سطوح متموجة .

وهكذا بنتيجة تصلب اللابات تتكون الصخور البركانية مثل الريوليت والانديزيت والبازلت والتراكيت واللبياريت وغيرها .
وينطلق من اللابة أثناء تبردها الغازات الموجودة فيها وتظهر على سطح اللابة كفقاقيع غازية لاحصر لها حيث ينجم عن تبردها وتصلبها فوق اللابة الحامضية صخر الخفان (Pumice) الفاتح اللون أو الابيض . أما تصلب الفقاقيع الغازية غير المنتظمة فوق سطح اللابة الاساسية فيشكل مايسمى بالسكوريا البازلتية (Scoriae) وهي عادة داكنة اللون أو سوداء وقد تكون محمرة .

٣- النواتج البركانية الصلبة :

وهي عبارة عن المواد الصلبة التي تقذفها البراكين أثناء نشاطها . وتتوضع هذه المواد بالقرب من البراكين أو بعيدا عنها وذلك حسب مقاسات هذه المواد حيث تتجمع معظم المواد المقذوفة ذات الحجوم

الكبيرة حول الفوهة بينما تتساقط القطع الصغيرة والرماد في أماكن مجاورة للبركان وقد تصل الى أماكن بعيدة عنه .

أما مصدر هذه المواد فهي اما أن تأتي من القشرة المتصلبة التي تتركب من اللابة القديمة الناتجة عن الثورانات السابقة والتي تتوضع في فوهة المخروط البركاني أو من تصلب الحمم المنصهرة التي تندفع في الجو مع الابخرة والغازات .

وتقسم هذه المواد الصلبة التي تقذفها البراكين حسب مقاييسها الى الانواع التالية :

آ- الرماد البركاني : Volcanic Ash

وهو عبارة عن جزئيات صغيرة من الفلزات المعدنية المختلفة غير منتظمة الشكل لايزيد قطرها عن ١ ميليمتر. ويختلف لون الرماد البركاني باختلاف التركيب الفلزي لهذه الجزيئات فقد يكون رمادي فاتح أوأسمرداكن أوأسود. ويمثل الرماد البركاني الكتلة الاساسية للمواد البركانية الصلبة. فحين ثار بركان كاتماي katmai في الاسكا عام ١٩١٢ قذف في الجو حوالي ١٥ كم٣ من الرماد البركاني وقد ترسبت هذه الكمية وغطت المنطقة المحيطة بالبركان بسمك بلغ أكثر من أربعة أمتار . وكانت كمية هذا الرماد كبيرة جدا في مدينة كادياك التي تبعد حوالي ١٦٠ كم عن البركان المذكور .

ب - الرمال البركانية : Volcanic sands

وهي جزيئات صلبة مقاسها حوالي ١ - ٢ ميليمتر لذلك فهي

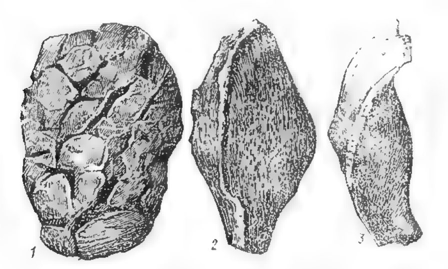
لاتبعد عن مركز البركان المسافة التي يبعدها الرماد البركاني بل تتوضع بالقرب من منشئها .

ج - لابيلي : Lapilli

أجزاء طبية مقاساتها حوالي ٣ - ٣٠ ميليمتر وهي تمتلك أشكالا مغزلية وتتألف بشكل أساسي من زجاج بركاني مسامي .

د - القنابل البركانية : Volcanic Bombs

وهي عبارة عن كتل وأجزاء من اللابة مختلفة الشكل والحجم وتتراوح مقاساتها بين بضعة سنتمترات وحتى عدة أمتار. أمـــا أشكالها فتكون مستديرة أو بيضاوية ، كما أنها تنطلق من البركان في هيئة حمم منصهرة الى ارتفاعات كبيرة حيث تدور حول نفسهـا وتتخذ الشكل الحلزوني أو المغزلي وتتصلب في الهواء ثم تتساقط على سطوح المخروط البركاني أو بالقرب منه شكل (٢-ه).



الشكل(٢-ه) القنابل البركانية

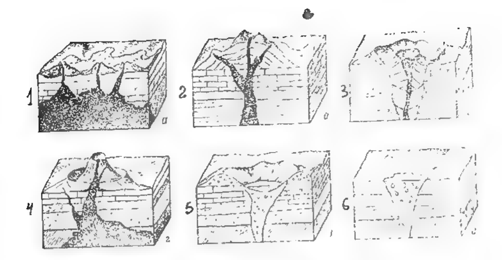
هـ ـ الصخور البركانية الحطامية :

وهو الصخور التي تتشكل من ترسب مواد الرماد والرمال البركانية حول البركان حيث تكون في البداية مفككة ثم لاتلبث أن تندمج بالتدريج نتيجة ثقل الرواسب المتراكمة فوق بعضها مكونة بذلك ألطف البركاني Volcanic tuff ، واذا تساقطت المواد المذكورة أعلاه فوق البحار والبحيرات فانها تترسب في القاع حيث تختلط بالمواد الطينية والرملية مكونة لصخر بركاني رسوبي يسمى التوفيت Tuffit .

جـ ـ الانماط الرئيسية للبراكين :

تظهر النشاطات البركانية بأشكال مختلفة ، وهذا يتعلق بالدرجة الاولى بالتركيب الكيمياوي للصهارة المغماتية ومحتوى هذه الصهارة من المواد الطيارة .

فالصهارة الاساسية التركيب (البازلتية) تحتوي على كمية قليلة من الغازات وهي قليلة اللزوجة وذات حركية وتنساب بهدوء . بينما اللابة الحامضية لزجة وأقل حركية بحيث تسد الفوهات البركانية مما يؤدي الى حبس الغازات وزيادة ضغطها وبالتالي حدوث الثورانات الشديدة التي تؤدي الى قذف كمية كبيرة من المواد الصلبة في الجو ، وبشكل عام واعتمادا على هذه الاختلافات يمكن تصنيف البراكين بعدة نماذج رئيسية أهمها : (الشكل ٣ـ٦)



شكل (٢-٦) أهم أنماط البراكين

١- البراكين الشقية ٢-البراكين الطبقية ٣-الكالديرا

٤- البراكين المزدوجة ٥- المار ٦-المداخن البركانية

ا- النمط الهاواي ، السترومبولي :

يتصف هذا النمط بتدفق اللابة البازلتية والتي حراتهـا ١٢٠٠ درجة مئوية ، وهي تنساب من فوهة البركان بشكل دوري وبسرعة تبلغ ٨ - ١٠ م/ثا مشكلة صبة بازلتية طولها ٤٠ - ٥٠ كم وأحيانا تبلغ ٨٠ كم ولاتترافق هذه البراكين بهزات عنيفة .

وتعتبر جزيرة هاواي، التي ينتشر فيها هذا النمط بشكل واسع كتلة بازلتية ضخمة توجد فيها خمسة براكين كبيرة ، اثنان منها نشيطان هما مونالوا Maunaloa الذي يبلغ ارتفاعه ٤١٠٠متر وكيلويا Kilauea الذي يقع الى الشرق من البركان السابق بحدود ٣٥ كم وارتفاعه حوالي ٤٢٠٠ متر شكل (٢-٤) .

ويتبع هذا النمط أيضا بعض براكين كامتشاتكا وأمريكا الجنوبية .

٢- النمط الاتني -الفيزوفي : Etna-Vesuvius Volcanic

أخذ هذا النمط اسمه من بركان فيزوف (ارتفاعه ١١٨٦ م) قرب نابولي وأثنا (٣٣٠٠ م) في جزيرة صقلية. اللابة هنا متوسطة التركيب (أنديزيتية) ونادرا ماتكون أساسية، وهي تتمتع بلزوجة وبحركة بطيئة، حرارتها حوالي ١٠٠٠ درجة مئوية وهي تتصلب بسرعة وتسد فوهة البركان في بعض الاحيان مما يؤدي الى حدوث انفجارات عنيفة تساعد على تشكيل فوهات ثانوية على جسم المخروط البركاني شكل (٢-٧) .

الشكل (٢-٧) : النمط الفيزوفي

وقد تتهدم قمة المخروط البركاني وتتسع فوهته وبالتالي تتشكل الكالديرا.

كذلك يتم قذف كميات كبيرة من المواد الحطامية البركانية مثل الخبث والرماد والقنابل البركانية . تتصلب اللابة بشكل ألسنة قصيرة ذات سماكة تبلغ ٤ - ٥ متر وتعتبر هذه البراكين

من النوع المركب وينتمي الى هذا النمط معظم براكين البحر المتوسط واليابان وأمريكا الجنوبية .

جـ- النمط البيلي : Pelean Type

ينتمي هذا النمط الى بركان جبل بيليه في جزر الانتيل بأمريكا الوسطى، اللابة في هذا النمط من البراكين أنديزيتية التركيب ، تتصف بلزوجة عالية جدا ودرجة حرارة بحدود ٨٠٠ درجة مئوية . تتصلب اللابة في فوهة البركان . ويترافق نشاط هذا النمط بهزات عنيفة وأصوات مدوية وقذف كمية ضخمة من المواد البركانية الصلبة والغازات الشديدة الحرارة (بحدود ٧٠٠ درجة مئوية وأكثر) لهذا فان سحب الغازات والرماد البركاني التي تهبط على المنحدرات تدمر كل مايصادفها في طريقها .

وقد بدأ بركان مونت بيلي Mountpelee ثورانه في أيار ١٩٠٢ بعد هدوء نسبي استمر منذ عام ١٨٥١ بقذف سحابة هائلة كثيفة سوداء من الابخرة والغازات الشديدة الحرارة اكتسحت في طريقها مدينة سان بيير عاصمة جزيرة المارتينيك ودمرتها بالكامل خلال بضع ثواني وقضت على سكانها البالغ عددهم ٢٨٠٠٠ انسان ولم ينج من سكانها الا شخصين فقط، وختم البركان نشاطه بلفظ عمود أو مسلة من اللابة الشديدة اللزوجة ارتفعت لبضعة مئات من الامتار فوق البركان . وقد تكررت الثورانات البركانية في عامي ١٩٢٩ - ١٩٣٠ ويكثر هذا النمط بشكل أساسي في أمريكا الوسطى .

٤- النمط الكراكاتاوي :

لقد أخذ هذا النمط اسمه من بركان كراكاتاوي في أندونيسيا . اللابة في هذا النمط حامضية وكثيرة اللزوجة ولانسياب لنفسها عمليا وانما تقذف بانفجارات هائلة على شكل كميات ضخمة من مختلف المواد البركانية الصلبة . ان الانفجارات الهائلة التي ترافق هذا النموذج من البراكين تؤدي الى تخريب المخروط البركاني وتشكيل الكالديرا . ويتبع هذا النمط بركان الباندايساني في اليابان . انفجارات براكين هذا النمط هي دائما مروعة وكارثية .

٥- المداخن البركانية : Volcanic pipes

وهي أبسط أنواع النشاط البركاني وقد تشكلت خلال انفجار بركاني واحد أدى الى قذف كميت كبيرة من الغازات دون ظهور آية لابة . والمداخن البركانية عبارة عن قناة شاقولية ذات جدران شديدة الانحدار وقطرها يبلغ ٨٠ - ١٠٠ متر وقاعها مسطح وفوهتها متسعة بالاعلى وهي تنتشر بشكل واسع في جنوب أفريقيا وتكون ممتلئة بمواد بركانية صلبة ذات تركيب أساسي وفوق آساسي تدعى بتوضعات الكمبرليت نسبة الى مرتفعات كيمبرلي في جنوب أفريقيا وترتبط بها توضعات الالماس . أما في المانية فيلاحظ تجمع المياه في كثير من الاحيان في هذه المداخن حيث تتحول الى بحيرة صغيرة يطلق عليها محليا اسم المار .

٦ـ النمط الشقي :

تنسكب فيه لابة أساسية ذات حركية عالية وهي تنساب على طول الشقوق في كافة الاتجاهات حيث تملأ كل المنخفضات وتشكل صبة بازلتية تنتشر على مساحات شاسعة وتغيب الانفجارات المرافقة تماما في هذا النمط .

وتختلف الصبات البازلتية الناتجة عن هذه البراكين عن الصبات البازلتية الناتجة عن براكين النمط المركزي (الهاواي) فالاخيرة لايزيد اتساعها عن كيلو متر واحد عند قاعدة البركان كما أن سمكها لايزيد على ١٠٠ متر وطولها يتراوح بين ١٥ و ٣٠ كم وسطيا ، أما الصبات البازلتية الناتجة عن النمط الشقي فتغطي كما رأينا سابقا مساحات شاسعة تبلغ مئات الالوف من الكيلومترات كما هو الحال في هضبة أرمينيا وهضبة الدكن Deccan في الهند. وينتشر هذا النمط بشكل أساسي في ايسلندا .

ان التصنيف السابق للبراكين هو تصنيف نسبي ، اذ توجد نماذج أخرى تشكل مراحل انتقالية بين النماذج المذكورة أعلاه .

وتنتشر البراكين بشكل عام في القطر العربي السوري في مناطق جبل العرب وحمص وحماه والجزيرة والساحل وأحدث بركان حدث في سورية يوجد في منطقة جبل العرب وقد مضى على نشاطه الاخير مايزيد على ٤٠٠٠ سنة .

د- الظواهر المرافقة لحدوث البراكين :

بعد انتهاء النشاط البركاني ومظاهره العنيفة يلاحظ بعض النشاطات اللاحقة التي تدل على استمرارية نشاط البؤر المغماتية مثل الاندفاعات الغازية، الفوارات الحارة، الينابيع الحارّة والبراكين الطينية .

١- الاندفاعات الغازية : Fumarole

ان الغازات التي تنطلق أثناء النشاط البركاني تستمر بعد هدوء البركان لفترة طويلة . ولايقتصر انطلاق هذه الغازات من الوفهة وحسب ، وانما تخرج أيضا من خلال الشقوق والفوهات الثانوية الموجودة في جسم المخروط البركاني وأحيانا في الاراضي المحيطة به . وقد تمت دراسة هذه الاندفاعات الغازية بأنواعها المختلفة الجافة والحامضية والقلوية والباردة سابقا . وتستخدم المياه الحارّة والابخرة التي تخرج على السطح في مناطق النشاط البركاني الحديثة في محطات التدفئة الكهربائية وكذلك في التدفئة الداخلية للابنية وأمثلتها كثيرة في ايطاليا، ايسلندا وكامتشاتكا .

٢- الينابيع الحارّة : Thermal springs

تنتشر الينابيع الحارّة بشكل واسع في مناطق النشاط البركاني ومناطق الالتواءات التكتونية الحديثة وهي ذات تصريف دائم . تبلغ درجة حرارة مياه هذه الينابيع حوالي ١٠٠ درجة مئوية وهي تنتشر بشكل واسع في جزر الكوريل وكامتشاتكا،وتتشكل هذه الينابيع نتيجة تغلغل المياه الجوفية في أعماق القشرة الارضية

عبر الشقوق والفوالق الموجودة في هذه المناطق ، حيث تسخن هـــــذه المياه وتغنى بالمواد المعدنيةومن ثم تعود ثانية الى السطح .

وتختلف الينابيع الحارّة فيما بينها تبعا لدرجة حـــرارة مياهها أو بحسب ماتحويه مياهها من مواد معدنيـــة مذابة فيها .

٣ـ الفوّارات الحارّة : Geysers

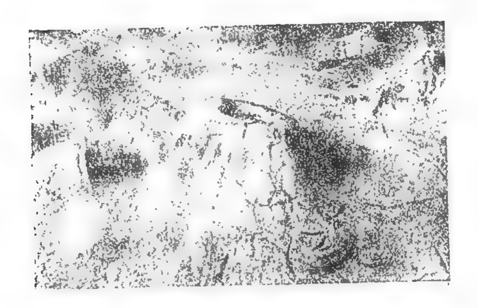
وهي عبارة عن ينابيع حارة يندفع منها الماء بشكل فوّارات دورية النشاط ولها أنواع عدة ، فبعضها يقذف الماء الى ارتفـــــاع لايتعدى بضعة سنتمترات ، بينما بعضها الاخر يقذفه الى ارتفاع يصـــل الى بضع عشرات من الامتار. كذلك فان زمن استمرار تدفق هذه الفوّارات ليس واحدا فبعض الفوّارات لاتستمر الا لبضعة ثواني وبعضها يستمر الى عدة دقائق أو ساعات . وتمتاز مياه الجيزرات بشكل عام بملوحـــــة قليلة من ٥ر١ وحتى ٢ غ/ل وهي بشكل أســـاســي أملاح الازوت والبوتاسيوم والمغنزيـــوم .

وتفسر آلية تشكل هذه الفوّارات بأن حرارة المياه المتسربـــة الى الاسفل تزداد مع العمق نتيجة اقترابها من مناطق ساخنة أو أن حرارة المياه تزداد نتيجة تكاثف البخار الذي يتسرب الىأنابيـــــب الفوّارات حتى تصل الى درجة الغليان التي تناسب العمق والضـــــغط الموجودين حينئذ يتوقف البخار عن التكاثف ويأخذ في التجمع الىأن يصل الى حجم مناسب يستطيع معه أن يرفع عمود الماء في قناة الفوّارة وبالتالي يخف الضغط الواقع على المستويات السفلى من المـــــــــاء فتصبح حرارة مياهها فوق درجة الغليان فتتحول فجأة الى بخار يدفع

الماء الساخن والابخرة بشدة خارج فوهة القناة الى الجو وتتكـــرر مثل هذه العملية باستمرار .

٤ـ البراكين الطينية : Mud Volcanics

وهي عبارة عن أشباه براكين خارجية المنشأ ، تبدو بشـــكل هضاب أو تلال صغيرة شكل (٢ـ٨) .



شكل (٢ـ٨) براكين الاوحال

تتشكل هذه البراكين من التدفقات الطينية التي تخرج مـــن باطن الارض مصحوبة بالغازات والابخرة ، وهي تنتشر بكثرة في المناطق القريبة من النشاط البركاني . وقد لاترتبط هذه البراكين الطينيـــة بالنشاط المهلي بشكل مباشر ويكثر وجودها في حقول البترول ، وهناك أمثلة عديدة لها في شبه جزيرة تامان Taman وكــــرش Kerch في جمهورية أذربيجان حيث تدفع الغازات المنطلقة من حقول البتـرول

والابخرة مواد طينية وتوصلها الى سطح الارض مشكلة مخروطا من الطامن المواد الطينية ينتهي في أعلاه بفوهة تخرج منها من حيث لاخر كمية من الغازات والابخرة والاوحال .

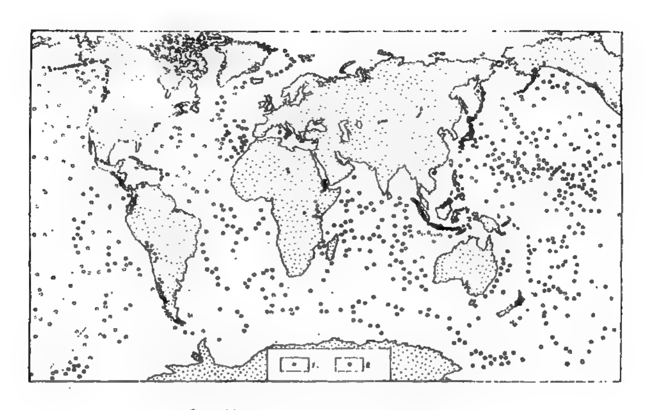
هـ - التوزع الجغرافي للبراكين :

يبلغ عدد البراكين في الوقت الحاضر (٤) آلاف بركان خامد و ٥٤٠ بركان نشيط. تتوزع هذه البراكين على سطح الكرة الارضية بشكل غير منتظم. وتنتشر معظم البراكين في الاجزاء التكتونية المتحركة من القشرة الارضية على طول الفوالق العميقة وخصوصا بالقرب من شواطئ البحار والمحيطات أو الجزر ويندر وجودها داخل القارّات حيث توجد مناطق تغيب فيها آثار النشاط البركاني مثل أراضي سيبيريا الغربية واستراليا. أما في المحيطات فتنتشر البراكين في منطقة الاعراف المحيطية المتوسطة .

ان حوالي ٧٧ ٪ من البراكين تعود الى المناطق الانتقالية بين القارات والاحواض المحيطية ومثل هذه القانونية لانتشار البراكين كانت سائدة في الزمن الجيولوجي الماضي . وفي الوقت الحاضر نميز على الكرة الارضية عدة أحزمة بركانية شكل (٢-٩) .

١- حزام المحيط الهادي: (حلقة النار حول المحيط الهادي)

يعتبر هذا الحزام من أضخم أحزمة البراكين على الاطلاق ويحتوي على ٦٠ ٪ من البراكين النشطة (٣٢٦) بركان والنسبة الكبيرة من البراكين الخامدة منذ زمن ليس ببعيد. يمتد هذا الحزام



شكل (٢-٩) التوزع الجغرافي للبراكين

١- براكين نشطة ٠

٢- براكين تحت مائية (نشطة وخامدة)٠

بمحاذاة السواحل الغربية لامريكا الشمالية وعلى طول شواطئ امريكا الجنوبية المطلة على المحيط الهادي وكذلك على طول السواحل الشرقية لقارة آسيا عبر شبه جزيرة كمتشاتكا الى جزر اليابان والفلبين ثم الى جزر آندونيسيا ونيوزيلندا٠ وان توضع البراكين على هذا الحزام يعود الى وجود أضخم فوالق العالم الذي يفصل منخفض المحيط الهادي عن القشرة المجاورة له ٠

٢ـ الحزام البركاني للبحر الابيض المتوسط وأندونيسيا :

ويمتد هذا الحزام من الجزر الاندونيسية حتى جبال الالب مارا بآسيا الوسطى والقفقاس وايران وآسيا الصغرى والسواحل الشمالية للبحر الابيض المتوسط . وهناك رأي يؤكد استمرارية هذا الحزام حتى جزر الانتيل في المحيط الاطلسي .

تتركز أكثر براكين هذا الحزام في منطقة الجزر الاندونيسية كجاوا وسومطرا والصوند الصغرى حيث يوجد أكثر من ١٢٣ بركان قاري و /٥/ براكين بحرية وأهمها بركان كراكاتا والشهير . أما على الحدود الشمالية للبحر الابيض المتوسط فيوجد أكثر من /١٠/براكين قارية و /٧/ براكين بحرية وأشهرها على الاطلاق براكين فيزوف، اتنا ، سترومبولي .

ان أغلب براكين هذا الحزام هي من النوع الانفجاري الغازي.

٣ـ حزام المحيط الاطلسي البركاني :

يمتد هذا الحزام في وسط المحيط الاطلسي من الشمال الى الجنوب موازيا لسواحل أفريقيا وأوروبا الغربية من ايسلندا عبر جزر الازور والكناري وحتى جزر كاب فيرده . ويضم هذا الحزام حوالي /٧٩/ بركان منها /٤٠/ بركان ينتشر على الجزر وخصوصا في ايسلندا التي يوجد فيها حوالي ٢٦ بركان نشيط وأكثرها شهرة بركاني فيكل ولاكي .

٤- الحزام البركاني للإنهدام الافريقي الشرقي :

ويتمثل هذا الحزام بشكل أساسي بالبراكين التي تنتشـــر على جزر المحيط الهندي، وفي أفريقيا يوجد أكثر من /١٢/ بركـــان نشيط من أشهرها جبل كينيا - كليمنجارو الذي يبلغ ارتفاعه حوالي /٦٠٠٠/ متر، وهكذا من خلال توزع هذه الاحزمة نلاحظ بأن مواقــــع البراكين تتفق مع سلاسل الجبال الكبرى التي توازي التشـــققات الهامة في القارة الامريكية وأوروبا وأفريقيا .

٢-١-٣- أهمية الحادثة المهلية في تشكيل مكامن الخامات المفيدة :

تلعب عمليات الحادثة المهلية دورا أساسيا في تشـــكيل مكامن الخامات المفيدة . وتسمى التوضعات التي يتعلق تشـــــكلها بنشاط الماغما بالتوضعات المغماتية وهي تتشكل في كل مراحـــل تطور الصهارة المغماتية .

ففي المرحلة الاولى من تطور الصهارة المغماتية تتشــكل بشكل خاص التوضعات الغماتية المرتبطة بالماغما وبشكل أدق المتعلقة بالصخور الفوق أساسية والاساسية مثل توضعات الكروميت والالمـــاس والسولفيدات ومعاون مجموعة البلاتين وتوضعات الاباتيت وغيرها. وفي المرحلة المتأخرة من تطور الصهارة المغماتية المتبقية والغنيـة بالمواد الطيّارة تتشكل توضعات بغماتية مثل توضعات المسـكوفيـت والاحجار الكريمة والفولفراميت والليثيوم والاورانيوم وغيرهــا . ونتيجة تطور عمليات تفاعل الماغما تتشكل لدينا محاليـــــل

هيدروترمالية تلعب دورا أساسيا في نشوء العديد من التوضعات الاقتصادية مثل توضعات النحاس والذهب والفضة والنيكل والزئبق وغيرها. وأغلب التوضعات الهيدروترمالية تتواجد بشكل عروق . وأخيرا فان الصخور الصهارية الناتجة عن تفاعل المهل تستخدم بعد ذاتها على نطاق واسع كمواد بناء .

كذلك تلعب البراكين دورا هاما في تشكيل التوضعات المفيدة. فضمن التشكيلات البركانية القديمة تصادف بعض التوضعات المعدنية وتوضعات المعادن النادرة. فتوضعات الحديد ذات المنشأ البركاني توجد في سيبريا والمانيا والنرويج ، كما ترتبط بالبراكين القديمة توضعات الذهب والفضة في كاليفورنيا وتوضعات النحاس والموليبدن في المكسيك والتشيلي والبيرو. كذلك تنتشر توضعات الالماس في المداخن البركانية في جنوب أفريقيا وأمريكا الوسطى .

ويلاحظ أيضا تشكيل بعض التوضعات المفيدة في بعض مناطق النشاط البركاني في الوقت الحالي . فمثلا يلاحظ في بعض براكين جزر الكوريل واليابان تشكيل توضعات الكبريت ، وفي فوهة بركان فيزوف تتبلور سلفيدات الرصاص والملوليبدن والنحاس والزرنيخ .....الخ .

وتتشكل في المناطق البركانية ترب زراعية خصبة تجعل الانسان يقطن بالقرب من هذه البراكين وعلى منحدراتها أحيانا رغم الخطر الذي يحدق به. فمثلا بركان فيزوف تحيط به القرى والمدن وتغطيه حدائق وبساتين الكروم وجميعها تنتشر على

جوانبه وحتى قرب قمته . كذلك تنتشر بساتين البرتقال والليمون والكروم على منحدرات بركان اتنا في جزيرة صقلية في تربة تتكون من البازلت الاسود الذي تدفق فوق المنطقة عبر العصور الجيولوجية .

٢-٢- التحوّل

يقصد بالتحول تغيير واعادة تشكل الصخور الاولية (الاندفاعية والرسوبية والمتحولة) المتشكلة سابقا تحت تأثير مختلف العمليات الجيولوجية الداخلية الناتجة عن تغيير الظروف الترموديناميكية وخصوصا الحرارة والضغط . وتؤدي هذه العمليات الى تغيير في الشروط الفيزيائية والكيميائية المحيطة بالصخور مما يجعل هذه الصخور تسعى لان تتكيف مع الشروط الترموديناميكية الجديدة . ان هذه التغيرات في الشروط الفيزيائية والكيميائية لاتسبب انصهار الصخور الاولية الا في حالات نادرة وخصوصا عندما تكون هذه الصخور على أعماق كبيرة تحت سطح الارض بل تحدث التحولات الداخلية في هذه الصخور وهي بالحالة الصلبة .

وتتغير الخصائص البنيوية والنسيجية للصخور عند التحول من جرّاء اعادة التبلور وتشكيل فلزات جديدة لم تكن موجودة سابقا في الصخور تترافق مع بعض الفلزات الموجودة أصلا في هذه الصخور وفي بعض الحالات يتغير التركيب الكيميائي للصخور. أن درجة تغير الصخور الاولية أو بمعنى آخر درجة تحول هذه الصخور يمكن أن تكون بسيطة حيث تحدث تغيرات طفيفة في التركيب الكيميائي للصخور الاولية أو تكون كبيرة يحدث فيها تغيير كلي لتركيب وشكل الصخور الاولية .

.. وضع تعريف للتحول أكثر دقة مما ذكرنا أعلاه يعتبر أكثر صعوبة ، اذ أننا نحتاج الى عوامل مميزة بين العمليات التحولية من جهة وكل من العمليات الرسوبية والمهلية من جهة أخرى.فالعمليات الرسوبية تتضمن أيضا تغيرات واضحة في المواد الاصلية مثل الملاط واعادة التبلور وازالة الماء وتبادل الايونات وذلك تحت تأثير عمليات الدياجنيز، وهنا يجب الاشارة الى أن هذه التغيرات الدي تصيب الصخور الرسوبية تتم في شروط حرارة منخفضة وأعماق ضحلة بالمقارنة مع الحرارة العالية والاعماق الكبيرة التي تحتاجها عمليات التحول . كذلك تختلف التفاعلات التحولية عن العمليات المهلية بأنها تفاعلات بالحالة الصلبة . فالتحول لايتضمن انصهارا فعليا ماعدا في شروط الحرارة العالية وهذا يبدو واضحا من خلال الحفاظ على البنية الاولية في الصخور المتحولة ، فالالواح الحجرية تظهر التطبق الاصلي للغضار الصفحي ، كما يظهر الرخام أحيانا بعض المستحاثات المميزة .

وقد تشكلت معظم فلزات الصخور المتحولة بسبب ارتفاع درجة الحرارة وليس بسبب انخفاضها، لان انخفاضها سيؤدي حتما الى انخفاض نسبة التفاعلات والى انقاص نسبة وجود الماء وغاز ثاني أوكسيد الكربون اللذين يلعبان دورا هاما في عمليات التحول .

٢-٢-١- عوامل التحول :

يرتبط تحول الصخور بمجموعة من العوامل الاساسية من أهمها الحرارة، الضغط والمحاليل المائية .

آ- درجة الحرارة :

تلعب درجة الحرارة دورا رئيسيا في عمليات التحول ، فهي تؤدي الى تغيير كبير في التركيب الفلزي حيث تقود الى اختفاء بعض الفلزات وظهور فلزات جديدة ، كما أنها تؤدي الى تسريع التفاعلات الكيمياوية وقد تبين أنه بزيادة درجة الحرارة نحو/١٠/ درجات مئوية تزداد سرعة التفاعل بمقدار الضعف ، أما عندما تزداد درجة الحرارة بمقدار ١٠٠ درجة مئوية فان سرعة التفاعل تزداد بمقدار ١٠٠٠ مرة ، وتأتي زيادة درجة الحرارة بشكل أساسي من مصدرين أساسيين :

١- طمر الصخور على أعماق كبيرة يؤدي الى زيادة درجة الحرارة وذلك بفعل التدرج الحراري حيث تزداد درجة الحرارة بمقدار درجة مئوية واحدة كل ٣٣ متر وهذا المعدل قد يزيد أو ينقص كثيرا بحيث تنخفض الى معدل درجة واحدة لكل ١٠٠ متر أو تزيد بمعدل درجة واحدة لكل عدة أمتار وذلك في المنطاقات الحارة غير العادية.

٢- نتيجة اندساس المهل ضمن اصخور القشرة الارضية : فاذا كان مصدر درجة الحرارة هو المهل فان حرارة الصخور المجتاحة تتناقص تدريجيا مع الابتعاد عن المهل يضاف الى ذلك التبرد التدريجي للمهل نفسه ويمكننا أن نكون فكرة عن درجات الحرارة التي ارتفعت اليها الصخور الموطنية نتيجة تماسها بالمهل وذلك اعتمادا

على وجود فلزات معينة ، فمثلا وجود فلز الفولاستونيت الناتج عن تحول الكالسيت يدل على أن درجة الحرارة لم تتجاوز ١١٠٠ درجة مئوية :

$$CaCO_3 + SiO_2 \rightleftharpoons CaSiO_2 + CO_2$$

الفولاستونيت

أما وجود فلز الاندالوزيت الناتج من تحول الكاولينيت فيدل على أن الحرارة لم تتجاوز ١٠٠٠ درجة مئوية اذ أن ارتفاعها إلى أعلى من ذلك سيؤدي الى تشكل فلز الموليت عوضا عنه :

$$Al_4Si_4O_{10}(OH)_8 \rightleftharpoons 2Al_2O(SiO_4) + 2SiO_2 + 4H_2O$$

الكاولينيت   الاندالوزيت

كذلك فان وجود فلز الانثراديت يدل على أن الحرارة اللازمة لتشكله لم تتعدى ٨٠٠ درجة مئوية .

أما بالنسبة للشروط الفعلية أثناء التحول فتتحدد الدرجة العليا اللازمة للتحول بالنقطة التي يصبح فيها الانصهار سائدا ، وقد أظهرت الاعمال التجريبية أن المجال الحراري للانصهار يعتمد على تركيب المادة الصخرية والضغط وأيضا على طبيعة وتركيز السوائل المصاحبة ، وقد تبين أنها تبلغ بالنسبة لاكثر أنواع الصخور حوالي ٨٥٠ درجة مئوية . أما بالنسبة للدرجة الدنيا فمن الصعب وضع حد لها . فمثلا تحول الكاولينيت الى مسكوفيت يحدث في درجات مختلفة من الحرارة وذلك حسب الحموضة فقد تتغير درجة الحرارة من ٣٥٠ الى ٢٠٠ درجة مئوية .

ب ـ الضغط :

وهو من العوامل الهامة التي لها دور أساسي في عملية التحول الصخور ويعزى الضغط بشكل أساسي الى ثقل الطبقات الصخرية في منطقة التحول . وبشكل عام يميز بين نوعين رئيسيين من الضغط :

- الضغط العام :

ويعتبر تابعا للعمق حيث تتعلق زيادته بمدى طمر الصخورفي أعماق الليتوسفير. وتقدر العلاقة بين العمق والضغط كما يلي : ان زيادة العمق بمقدار /٣/ كم يوءدي الى زيادة الضغط بمقدار /١٠٠/ ميكاباسكال . واذا اعتبرنا أن أكثر عمليات التحول شدة تنطور على أعماق تتراوح بين ١٠ و ٥٠ كم نلاحظ بأن الضغط العام في مثل هذه الظروف يجب أن يتراوح بين ٤٠٠ و ١٥٠٠ ميكاباسكال . وتسبب زيادة الضغط العام تغير حجم الصخور وتشكيل فلزات ذات كثافة عالية ودرجة انصهار مرتفعة ووزن نوعي كبير. كما يساعد الضغط العام عادة على تشكيل صخور ذات نسيج متجانس . وهذا الضغط يعتبر متساويا في جميع الجهات .

- الضغط الموجه :

وينشأ عند الحركات التكتونية الشديدة التي لها طابع انزياحي . وهو تقود الى تخريب الفلزات واظهار قانونية لتوزعها في الصخور. فالفلزات الصفائحية تتوضع بحيث تتجه سطوح الانفصام بشكل عمودي على اتجاه الضغط لتشكل مايعرف بالنسيج الصفائحي

للصخور، وفي بعض الحالات تؤدي هذه الحركات الى تحطيم الصخور وتفتيتها و بالتالي تتشكل الشقوق والفوالق التي تتغلغل عبرها المياه مما يزيد مقدرة هذه المياه على حل الاملاح المعدنية بشكل كبير .

ويظهر هذا النوع من الضغط بشكل كبير في النطاقات العليا من القشرة الارضية حيث أن سماكة الرسوبات المتوضعة فوق الصخور ليست بكبيرة، ومع العمق يزداد دور الضغط العام ويقل بالمقابل دور الضغط الموجه .

وأخيرا يجب الاشارة الى أنه عند تقدير الحرارة والضغط في عمليات التحول يجب الاخذ بعين الاعتبار بأن ذلك يعتمد بشكل كبير على كمية وطبيعة السوائل التي قد زالت نهائيا وبذلك يمكننا أن نستنتج بأن الارقام لشروط التحول لصخر ما يمكن أن تعطى بدقة ± ١٠٠ درجة مئوية و ± ١٠٠٠ ضغط جوي .

جـ ـ المحاليل المائية الحرارية :

وهي عبارة عن مياه جوفية ذات منشأ عميق تكون مشبعة بمختلف الاملاح المعدنية والمركبات الكيميائية الطيارة مثل : HCl ، HF ، CO_2 ، H_2S ، B وغيرها .

وتعتبر المهل المصدر المباشر أوغير المباشر لهذه المحاليل ، فأثناء عمليات التبلور المتدرج والتفاعل التي تخضع لها المهل تنشأ هذه المحاليل المائية التي تغادر مكان التجمع المهلي وهي بطور سائل أو أنها تنشأ نتيجة تكاثف المواد الغازية

المنبثقة عن المهل .

وتتمتع المحاليل المائية بأهمية كبيرة في عمليات تحول الصخور وتشكيل فلزات جديدة وذلك من خلال اشتراكها في كثير من التفاعلات الكيمياوية المعقدة مع الصخور وذلك بمساعدة الحرارة والضغط العاليين، فمثلا يمكن أن ينشأ الطلق من فساد البيروكسين بوجود غاز ثاني أوكسيد الكربون وفق التفاعل التالي :

$$MgSiO_3 + CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2Mg_3Si_4O_{12} + MgCO_3$$

البيروكسين   الطلق

وهنا يجب الاشارة الى أن بعض التحولات تجري كما ذكرنا أعلاه بالحالة الصلبة، الا أن هذه التفاعلات تكون عادة بطيئة وخاصة تفاعلات السيليكات الصلبة الجافة. كذلك فان عمليات التحول تزداد بسرعة بوجود السوائل حتى أنه يمكن اعتمادا على بعض التفاعلات تحديد طبيعة وكمية السوائل المتواجدة وكذلك تحديد نوعية الفلزات المتحولة التي تتشكل أثناء التحول .

ويقل دور المحاليل المائية في عمليات التحول مع العمق وذلك بسبب تناقص النفوذية مع الاعماق وبالتالي تصبح المساحات ضعيفة جدا (غير فعّالة) لاتسمح للسوائل بالمرور عبرها .

وأخيرا هناك دور أساسي عند التحول ينسب الى عامل الزمن مادامت عمليات التحول هي عمليات طويلة تتحقق بمقاييس الزمن الجيولوجي . الا أنه من الخطأ التفكير بأنه كلما كانت الصخور أقدم كلما كانت أشد تأثرا بالتحول . لان هذا يتعلق بشكل أساسي

بالوضع الجيولوجي . فالطاقة الداخلية الموجودة داخل القشرة الارضية نتيجة تطور عمليات الحادثة المهلية، والتقوس الكبير للقشرة الارضية المترافقة بتوضع سماكات رسوبية كبيرة، وكذلك التشوهات التمزقية والتجعدية وغيرها تولد العوامل الرئيسية لحدوث التحول والتي تعود الى الاجزاء المتحركة من القشرة الارضية (مناطق الجيوسنكلينال). لهذا السبب فانه من الواضح ارتباط التحول الكبير بهذه المناطق . أما في المناطق الجيولوجية الهادئة كمناطق البلات فورم فان عمليات التحول تكاد تغيب حتى بالنسبة لاقدم الصخور .

٢-٢-٢- أنواع التحول :

ان عمليات التحول هي عمليات معقدة ومتنوعة وغالبا ما تكون مرتبطة بتأثير جميع عوامل التحول. الا أنه حسب العامل المسيطر وحسب مقياس امتداد عملية التحول تميز عدة أنواع للتحول أهمها :

آ- التحول التماسي :

ويظهر في مناطق التماس أو على الحد الفاصل بين وسطين أحدهما يمثل الماغما المندسة ضمن طبقات القشرة الارضية والاخر هو الصخور المحيطة بها. فعلى الحدود بين الماغما والصخور تنشأ عمليات فيزيائية - كيميائية معقدة تقود الى استضافة تماسية من جهة والى تغيرات حرارية للفلزات من جهة أخرى . وتتعلق شدة هذه العمليات بشكل كبير بنوعية الماغما والصخور المحيطة وأكبر

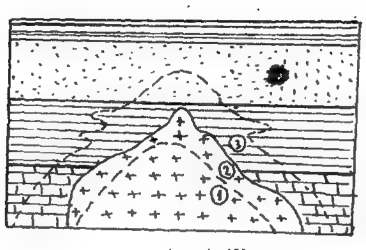
التأثيرات تظهر في حالة مهل (ماغما) حامضية ومخوركربوناتية .

وتتشكل بالقرب من سطوح التماس هالة تعرف بهالة التحـــول التماسي التي يمكن أن يتغير عرضها من عدة سنتيمترات وحتى بضـــع مئات من الامتار وقد يبلغ عدة كيلومترات ، وهذا يتعلق بحجم وتركيـب الاجسام المندسة وأعمال توضعها والخصائص الفيزيائية - الكيميائية للصخور المجتاحة .

فعندما يخترق مهل دسيس طبقات القشرة الارضية يحدث فيهـا نوعين من التأثيـــرات .

١- تأثيرات داخلية المنشأ وتحصل على أطراف الجســـم المغماتي نفسه وهي تؤدي الى تغيرات في البنية والنسيج والى حد كبير في التركيب الفلزي كما تتشكل هنا فلـزات التورمالين والبريل والغرينا .

٢- تأثيرات خارجية المنشأ وتحصل عادة بالصخور المحيطة بالمهل وهي تتمثل في عملية طبخ هذه الصخور واعـــادة تطبعها أو تحدث تحولات كبيرة في تراكيب الفلــــزات الاصلية لهذه الصخور وذلك نتيجة تفكك أيوناتها واعادة ارتباطها من جديد مما يؤدي الى تشكيل فلزات ثابتـة تحت الشروط الحرارية الجديدة . وهذه الهالة أعـــرض بكثير من الهالة الداخلية حيث يتراوح عرضها من عـــدة مئـــات مـن الامتـــار ، وحتـى / ٢ - ٥ / كم وأحيانـا أكثر . شكل (٢-١٠) .



شكل (٢-١٠)

١- غرانيت

٢- غرانيت متحول (منطقة التحول الداخلية)

٣- منطقة تحول الصخور الرسوبية (منطقة التحول الخارجية)

ان تأثير الماغما على الصخور المحيطة يختلف باختلاف التركيب الكيمياوي للماغما نفسها. فاذا كانت الماغما حامضية فانها تحتوي على نسبة أكبر من الغازات والابخرة وبالتالي يكون تأثيرها على الصخور المجاورة أكبر من الماغما الاساسية . كذلك فان تأثير الماغما على الصخور المحيطة يختلف باختلاف شكل وعمق توضعها . فالماغما المتوضعة في الاعماق تؤثر على الصخورالمحيطة أكثر من الماغما القريبة من السطح وذلك بسبب التبرد السريع للماغما عند اقترابها من السطح مما يؤدي الى ضياع سريع للمواد المنبعثة منها وهي العامل الرئيسي في الاستحالة التماسية. كما وجد أنه عندما تكون جوانب الماغما المندسة تنحدر بلطف فانها تعطي نطاقات استحالة أوسع من تلك التي تعطيها دسيسات تنحدر جوانبها بشدة .

وأخيرا فان الحرارة التي تعتبر العامل المسيطر في هذا النوع من التحول ، تؤدي الى تحول بسيط في بنية الصخور وظهور بعض الفلزات الجديدة ولكن دون أن يتغير التركيب الكيميائي العام لهذه الصخور . فالصخور الكلسية تتحول الى رخام والرملية الى كوارتزيت .

ب ـ التحول الديناميكي :   Dynamic metamorphism

يظهر هذا النوع من التحول في النطاقات العليا من القشرة الارضية وخصوصا في مناطق تطور الحركات التكتونية ذات الطابع الانزياحي اذ يحصل هذا التحول على طول خطوط الكسور والازاحة الناتجة عن الفوالق .

ان العامل المسيطر هنا هو الضغط بصورة رئيسية ، أما التأثير الحراري أو الكيميائي فيكاد أن يكون معدوما . ويصحب هذا النوع من التحول تغيير الخصائص البنيوية والنسيجية للصخور وتظهر في النهاية الشيستوية حيث يصبح الصخر مؤلفا من صفائح رقيقة (وريقات) منضدة فوق بعضها البعض ويحدث بشكل أقل تغيير في التركيب الفلزي . كذلك أيضا وتحت تأثير ضغوط الكتل المتوضعة في الاعلى تبدأ الصخور المتطبقة بالانفصال (التمزق) في اتجاه معامد للضغط، كما أن حبات الفلزات تتطاول ويتغير نتيجة ذلك نسيج الصخور. وهناك بعض الفلزات التي تعتبر فلزات نموذجية لهذا النوع من التحول من أهمها الطلق والكلوريت والسيريسيت .

وإذا كان الضغط الذي تتعرض له الصخور شديدا فانها تتحطم

وتتفتت ويتشكل في النهاية مايسمى بالبريشا التكتونية .

ج - التحول البنوماتوليتي - الهيدروترمالي :

العامل المسيطر في هذا النوع من التحول هو الغازات والابخرة التي تنفصل عن الماغما أثناء تأثيرها على الصخور وهي تقود الى تغيير ليس في التركيب الفلزي (المينيرالوجي) للصخور وحسب وانما أيضا التغيير في التركيب الكيمياشي لهذه الصخور .

وتوءثر هذه الغازات والمحاليل على الصخور بشكل منفصل أو مجتمعة مع بعضها البعض . ويسمى فعل الغازات الحارة على الصخور، بالفعل البنوماتوليتي . فعندما تنتشر الغازات المنفصلة عن الماغما عبر مساحات وشقوق الصخور تدخل في تفاعل متبادل مع العناصر الكيمياشية الفعالة أو تحل هذه العناصر . فمثلا في الغرانيت وتحت تأثير هذه الغازات يتحلل الصفاح القلوي الى كوارتز وميكا ويتشكل بنفس الوقت فلزات البيريت والارسينوبيريت والموليبدنيت والفولفراميت والتوباز ويتحول نتيجة ذلك الغرانيت الى صخور كوارتزية - صفاحية فاتحة اللون أكثر من الغرانيت تسمى بالغريزن .

وبمقدار تبرد هذه الغازات تتحول الابخرة المائية المشبعة الى محاليل هيدروترمالية محدثة بذلك تحولا في الصخور يسمى بالتحول الهيدروترمالي ومثال على هذا التحول هو تحول الصخور الفوق أساسية الى سربنتينيت اذ يتحول فلزا الاوليفين والبيروكسين الى فلز جديد هو السربنتين وأيضا تحول الدولوميت الى الطلق

حسب المعادلة التالية :

$$3(Ca,Mg)(CO_3)_2 + 4SiO_2 + H_2O \rightleftharpoons$$

الدولوميت

$$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2 + 3CaCO_3 + 3CO_2$$

الطلق　　　الكالسيت

ب- التحول الاقليمي : Regional metanorphism

ويعتبر هذا النوع من التحول من أكثر أنواع التحول انتشارا وأهمية وهو يحتل مساحات واسعة من القشرة الارضية ، أو قد يحتل أقاليم بالكامل . وينشأ هذا التحول نتيجة الفعل المشترك لعوامل التحول على الصخور بمختلف تشكيلاتها الاندفاعية ، والرسوبية وحتى المتحولة . وهو يظهر في ظروف تعرض بعض أجزاء القشرة الارضية الى طمر طويل متزايد نتيجة انتقال الصخور من النطاقات العليا للقشرة الارضية الى نطاقات أعمق ، وبالتالي فان أكثر الظروف ملائمة لهذا التحول هي الاجزاء التكتونية المتحركة من القشرة الارضية وخصوصا في مناطق الجيوسينكليناالات مختلفة الاعمار. وتتصف الفلزات التي تتشكل تحت تأثير هذا النوع من التحول بصفتين أساسيتين هما : الكثافة العالية والمقاومة الكبيرة للحرارة .

ان درجة تغير الصخور في حالة التحول الاقليمي تقع في علاقة مباشرة مع درجة تغير الظروف الترموديناميكية للوسط . وكمؤشر أساسي لتغير هذه الظروف يأخذ الكثير من العلماء مدلول العمق عن

السطح باعتباره يحدد الضغط والحرارة واعتمادا على ذلك نميز ثلاث مناطق لهذا التحول مرتبة من الاعلى الى الاسفل وتتصف بدرجات تحول مختلفة جدول (٢-١) وهي :

نوع الصخور	المنطقة	اســــم الصـــخر		
الرسوبية	التجوية	الرمـال	الفضـار	الحجر الكلسي
	الالتحام	الحجر الرملي	الارغليت	حجركلسي نصف مبلور
الشارية	العليا	الحجر الرملي الكوارتزي	الفيليت	مرمر ذو حبات صغيرة
	الوسطى	الكوارتزيت	الميكاشيست	مرمر ذو حبات متوسطة
	الدنيا	كوارتزمعاد تبلوره	الغنايس	مرمر ذو حبات كبيرة

جدول(٢-١) يظهر تغير الصخورحسب مناطق تشكلها

١- المنطقة العليا : Epi Zone

وتتصف هذه المنطقة بدرجات حرارة منخفضة نسبيا وضغط جانبي وموجه منخفض نسبيا أيضا، يؤدي في أغلب الاحيان الى تشكل

البريشا التكتونية وبالتالي تمثل هذه المنطقة بداية التحول للتشكيلات الصخرية الواقعة تحت التوضعات السمكية والثقيلة . فالصخور في هذه المنطقة يحصل لها اعادة تبلور وتغيير في تركيبها الفلزي، ولكنها في أغلب الاحيان تحتفظ بشكلها الاولي كتحول الرمال الى أحجار رملية كوارتزية ، فالتحول هنا يكون ناتجا عن اعادة تبلور الاسمنت السيليسي ولم يحصل للحبات الحطامية المكونة للحجر الرملي جدول (٢-١) .

٢- المنطقة الوسطى : Mese Zone

يكون التحول في هذه المنطقة قريبا من التام . الحرارة في هذه المنطقة مرتفعة والضغط جانبي وهيدروستاتيكي مرتفع . وتحدث في مثل هذه الظروف اعادة تبلور بالكامل وتتخذ الصخور نسيجا شيستويا وتتشكل أيضا فلزات جديدة . فمثلا الكالسيت يتحد مع الكوارتز ويعطي فلز الفولاستونيت . وأهم الصخور المميزة لهذه المنطقة الكوارتزيت والمرمر والغنايس .

٣- المنطقة الداخلية : Kata Zone

وتمتاز هذه المنطقة بالحرارة المرتفعة جدا وكذلك الضغط العام المرتفع حيث ينعدم هنا الضغط الجانبي تقريبا ويكون التحول في هذه المنطقة تاما وشديدا بحيث يصبح من الصعب التعرف على التركيب الاصلي للصخور الامهات التي خضعت للتحول وأكثر الصخور تمثيلا لهذا النوع من التحول هو صخر الايكلوجيت الذي يتألف من فلزات الاوليفين والبيروكسين والغارنت .

هـ ـ مافوق التحول : Ultra metamorphism

وهو أعلى درجات التحول ويتم فيالنطاقات العميقة جدا من القشرة الارضية وينسب الى هذا النوع منالتحول عمليات الباليغنيز ، الاناتكسيس ، المغمتة والفرنتة .

ويقصد بالباليغنيز اعادة انصهار الصخور المغماتية الاولية (المندسة والمخترجة) وتحويلها الى غرانيتات ، أما الانصهارالكامل الذي يقود الى تشكل الماغما فيسمى بالاناتكسيس .

أما الفرنتة فيقصد بها اعادة تشكل التركيب الكيميائي والفلزي للصخور المتحولة ، وفي النهاية تشكيل فلزات وبنيات مشابهة لتلك التي تلاحظ عند الغرانيت .

وتصادف توضعات الغرانيت ذات المنشأ التحولي ضمن تشكيلات الغنايس العائدة الى ماقبل الكامبري وكذلك الصفاح المتبلورالذي يشكل نوى الجبال الحديثة .

٢-٢-٣- دور عمليات التحول في تشكيل مكامن الخامات المفيدة :

اضافة الى دور عملياتالتحول في اعادة تشكل الصخور فانها تؤثر أيضا على شكل وظروف توضع الخامات المفيدة وعلى تركيبها وخواصها البنيوية والنسيجية .

فتحت تأثير عمليات التحول يتغير التركيب الفلزي والكيميائي للخامات الفلزية وخواصها الفيزيائية ، فمثلا مكان الاكاسيدالمائية

تتشكل أكاسيد لامائية فالليمونيت يستبدل بالهيماتيت والمغناتيت والبوكسيت بالكوروندوم، وتسمى مكامن الخامات المفيدة التي يتحقق تشكلها بعمليات التحول بالمكامن التحولية وهي تقسم الى نوعين أساسيين حسب طبيعة تأثير العمليات التحولية :

النوع الاول وينشأ بفعل تأثير عمليات التحول على توضعات سابقة التشكل وفي هذه الحالة فان التغيرات التي تتعرض لها هذه التوضعات تصيب البنية النسيجية بالدرجة الاولى . فمثلا الهيماتيت يصبح صفائحي البنية وحرشفي المظهر ويدعى بالسبيكولاريت Specularite اضافة لذلك تؤدي عمليات التحول الى اغناء هذه التوضعات وزيادة نسبة احتوائها على المعادن المفيدة، فمكامن الحديد والمنغنيز تزداد فيها نسبة المعادن المفيدة بفعل تشكل أكاسيد جديدة واضافة للماء .

أما النوع الثاني من التوضعات فينشأ نتيجة تأثير عمليات التحول على الصخور مما يؤدي الى تشكل توضعات فلزية لامعدنية جيدة وخاصة بفعل عمليات التحول الاقليمي . أما مواد المصدر لهذه التوضعات فهي فلزات الصخور التي تخضع الى اعادة التبلور أو اعادة الارتباط ونادرا مايحصل هنا اضافة للماء أو ثاني أوكسيد الكربون . وأهم التوضعات اللامعدنية الناجمة عن هذا التحول هي توضعات الاسبستوس والغرافيت والتالك ومجموعة السيليمانيت والغرنيا .

========

٢-٣- التشوهات التكتونية

تتألف القشرة الارضية من مختلف أنواع الصخور الاندفاعيــــة والرسوبية والمتحولة . وهذه الصخور على اختلاف أنواعها فانهـــا تشغل وضعا معينا أي أن لها شكل وحجم محددين . ان الشكل المميـز للصخور الرسوبية هو التطبق الذي يتشكل نتيجة التوضع الـــدوري للرسوبات في أحواض الترسيب . ولكن نادرا ماتحافظ الصــخور الرسوبية على أوضاعها الاصلية وهذا يعود الى الحركات التكتونية التي تجبر الصخور على تغيير أوضاعها الاصلية ،وتتشكل طبقات جديدة تختلف بشكل كبير عن السابقة نسميها بالتشوهات التكتونية .

وتبدو القشرة الارضية في الوهلة الاولى متوازنة ومســتقرة ولكنها في الواقع خاضعة لتغيرات وتشوهات تبدو جلية بشكل واضح في بعض المناطق ولاسيما المتميزة بديناميكية نشطة بسبب بعض الحركات الداخلية الكبيرة . فالزلازل مثلا تؤدي غالبا الى تشققات تصـيب الصخور يمكن ملاحظتها بالعين المجردة .

٢-٣-١- ميكانيكية تشوه الصخور :

تقع الصخور في القشرة الارضية تحت تأثير مختلف الحمولات التي تحدث في هذه الصخور التشوهات التي تتجلى اما في تغيير شكل هذه الصخور أو حجمها أو موقعها . ومع استمرار تأثير هذه الحمولات ينشـــأ أولا

في الصخور مختلف أنواع التشققات وفي مرحلة لاحقة يحدث تحطيم هذه الصخور. وعند الظروف العادية على سطح الارض تتمتع الأغلب الصخور المشوهة بخواص الاجسام الصلبة والهشة .

وتتمتع الصخور بخاصية السيلان اللزج في الحالة الصلبة بدون تشكل انقطاعات عند قوى جهد أو توتر صغيرة. وتصبح هذه العملية سهلة بوجود سوائل وخاصة المياه التي توجد في الفراغات بين الحبات أو البلورات الصخرية التي يمكن أن تتمتع بضغط خاص وقادر بدرجة كبيرة على اضعاف الحمولات الخارجية .

ونتيجة سيلان الصخور في الحالة الصلبة تتشكل فيها الطيات والتمزقات ومختلف أنواع التشوهات ويجب الاخذ بعين الاعتبار أن دراسة تماسك وتخريب الاجسام الصلبة تم غالبا على المعادن التي تختلف عنها الصخور قبل كل شيء بعدم تجانسها، الا أن التشابه الكبير بين الصخور والاجسام الصلبة يخول استخدام نظرية تشوه الاجسام الصلبة في فهم عمليات تشوه الصخور .

آ- العلاقة بين الجهد والتشوه :

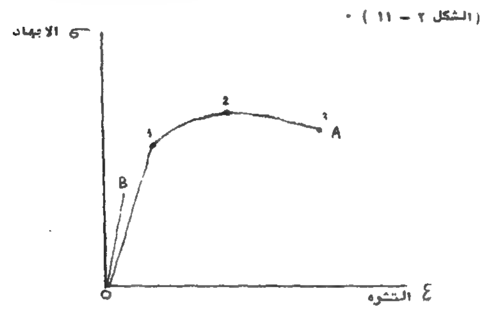
يعرف الجهد بأنه القوى التي تسعى الى تغيير وتشويه الصخر مقسومة على واحدة المساحة أي أن :

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

حيث أن (F) هي القوة المطبقة على الجسم من الخارج مقدرة بالكيلوغرام . و(S) هي المساحة وتقدر بالسنتيمتر المربع .

أما التشوه فهي التغيير الذي تسبب بالجهد وقد يكون هذا التشوه عبارة عن تغيير شكلي أو حجمي أو كلاهما معا، وقد يكون التشوه موجبا كما هو في حالة التمدد أوالتطاول وقد يكون سالبا كما في حالة التقصير أوالتقلص.

نحمل الجهد على المحور الرأسي (المحور ع) مقدرا بالكيلوغرام /سنتيمتر مربع ، أما على المحور الافقي (المحور س) فنحمل التشوه وهو يقاس بالنسبة المئوية للتقصير أوالاطالة (الشكل ٢ - ١١).



شكل (٢-١١) العلاقة بين التشوه والاجهاد

A ـ حالة مادة لينة B ـ حالة مادة هشة

وسأخذ حالتين :

ـ حالة مادة لينة الخط البياني

ـ حالة مادة هشة الخط البياني

نلاحظ في الحالة الاولى أي في حالة المادة اللينة أن علاقـة التشوه بالجهد الكابس تمثل بخط مستقيم أي يبقى التناسب طرديـا بين قوى الكبس المطبقة على المادة والتقصير الناتج من ذلك حتى حد معين يسمى حد المرونة النسبي (النقطة ١) ويعبر عن ذلك بالعلاقة الخطية $\sigma = E \, \varepsilon$ والتي تدعى قانون هوك حيث يدعى عامـل التناسب (E) بمعامل المرونة أو معامل يونغ. وتعتمد قيمة حد المرونة النسبي على صفات المادة نفسها . وعندما تزيد قوى الكبس ويتعدى الجهد حد المرونة يبدأ الجسم بالتشوه السريع ويزداد القصر بسرعة أكبر حيث يصبح الخط المستقيم منحنيا، ثم يلاحظ بأن الجسم لايلبث أن يستعيد مقاومته في (النقطة٢) من المنحني حيث تأخذ القوة هنا قيمتها العظمى ويدعى الاجهاد المقابل لهذه النقطة بالمقاومة الحدية للمادةوهو يمثل قدرا من الجهد أكبر من القدر اللازم للمزق، أما بعد هذه النقطة فان التقصير يحدث بانقاص الاجهاد الى أن يحدث المزق أخيرا في النقطة (رقم٣) من المنحني .

أما في الحالة الثانية وهي حالة المادة الهشة فنلاحظ بأن المزق يحدث مباشرة بعد أن يتعدى الجهد حد المرونة النسبي .

وبشكل عام فان معظم الصخور تستجيب للجهود الموجهـة كأنها أجسام هشة وذلك تحت الشروط الفيزياوية العادية من الحرارة والضغط ولكنها تتصرف تصرف المواد اللينة باضافة عوامل أخـرى سنراها لاحقا عند دراسة العوامل التي تؤثر على تشوه الاجسام الصلبة .

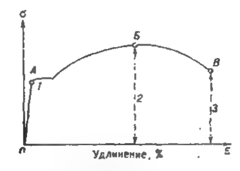
ب ـ مراحل التشوه Stages of deformation

اذا تعرّض جسم صلب ما الى قوى مباشرة فانه يمر بمراحل التشوه التالية :

١ـ التشوه المرن : Elastic deformation

تعتبر المواد الصخرية موادا مرنة تتشوه تشوها مرنـا اذا ماتعرضت لقوى اجهاد ثم استعادت شكلها وحجمها الاصليين بعد زوال القوى المسببة للتشوه ويدعى هذا التغيير المؤقت في الشكل والحجم بالتشوه المرن .

لقد أظهرت تجارب كثيرة للكثير من الصخور مثل الغرانيت والكوارتزيت والحجر الكلسي العلاقة التناسبية الطردية بين الجهد والتشوه وأن المخطط العام للتشوه يملك الشكل . (الشكل ٢ـ١٢) .



شكل (٢ـ١٢) المخطط العام للتشوه

A ٥ ـ التشوه المرن ، AБ ـ التشوه اللدن

БB ـ التشوه عند اضعاف الجسم ، B ـ نقطة التمزق

١ـ حد المرونة ٢ـ المتانة القصوى ٣ـ المتانة النهائية

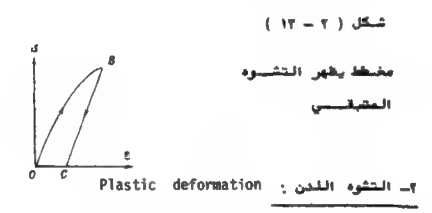
ويعين بالعلاقة

ان معامل المرونة (E) يتغير ضمن مجالات كثيرة فهـو يبلغ للغرانيت مثلا ٦٠٠ ميكا باسكال أما في الفخار فيبلـغ ٢/ ميكا باسكال .

ان الصخور يمكن أن تكون مرنة ولكنها لاتخضع لقانون هوك فالكثير من الصخور مثل المرمر والغرانيت عندحمولة ما تتشوه وفق المنحني OB شكل (٢-١٣) وعند ازالة الحمولة أي العودة الى الشكل الاول فتتم بالمنحني BC والاقتطاع OC يمثل التشوه المتبقي .

شكل (٢ - ١٣)

مخطط يظهر التشوه المتبقـي

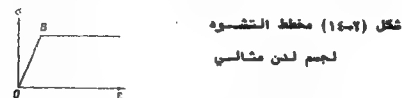


٢- التشوه اللدن : Plastic deformation

تعتبر المواد الصخرية موادا لدنة وتتشوه تشوها لدونيا اذا ماتعرّضت لقوى اجهاد ولم يكن لها قدرة كافية على استعادة شكلها وحجمها الاصليين . فالتشوه الدائم يدعى بالتشوه اللدن .

تتمتع كل الصخور تقريبا بهذه الدرجة أو تلك بخواص اللدونة فحتى الصخور التي في الظروف العادية تعتبر موادا هشة يمكن لها عند الضغوط العالية والتأثير الطويل أن تتشوه أو تسيل . لذلك

غالبا في الحسابات يلجأ الى نموذج لجسم لدن مثالث شكل (٢-١٤)حيث فيه عند بلوغ المادة حد السيولة (B) يمكن أن تسيل بدون نهاية .



شكل (٢-١٤) مخطط التشـوه لجسم لدن مثالـي

على منحني التشوه الشكل (٢-١٢) يلاحظ أنه بعد نهايـــــة المرونة يستمر المنحني بعض الوقت بالنهوض ، أي أنه لنمو التشوه يتطلب زيادة الاجهاد، الا أن هذه الزيادة تكون أقل بشكل أوضح منهـــا في المنطقة المرنة . ان الجزء B على الشكل (٢-١٢) يوافـــــق التشوه في حالة اضعاف الجسم أمام الانقطاعات .

جـ التشوه التمزقي :- Rupture deformation

وفي هذه الحالة يتحطم الجسم ويتكسر نتيجة ازدياد القـــوى الخارجية . ان حد الثبات يتأرجح في حدود كبيرة لمختلف أنـــــواع الصخور . فبعض الصخور تتحطم وتتكسر مباشرة بعد مرحلة التشـــــوه المرن (حالة الاجسام الهشة) بينما بعض الصخور الاخرى تتحطم بعـــــد مرحلة التشوه اللدن (حالة الاجسام اللينة) ، حيث تظهر على ســــطح النموذج المعرض للضغط شقوق شعرية رقيقة مائلة على خط اتجـــــاه الضــــغط .

د ـ العوامل التي تؤثر على تشوه الصخور :

لقد ذكرنا أعلاه أن سلوك المواد الصخرية المعرضة للقــوة

الاجهادية يختلف اختلافا نسبيا حسب الظروف المحيطة والشروط الفيزيائية المختلفة، وأهم العوامل التي تتحكم في سلوك المواد الصخرية هي :

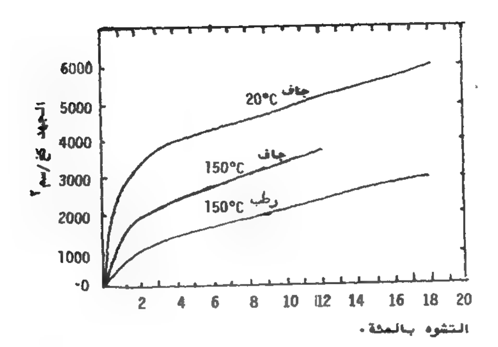
١- الحرارة :

يؤدي تسخين الجسم الى تنشيط حركة الذرات وبالتالي تسهيل التشوه اللدن لذلك فان الصخور التي تتواجد على أعماق مناسبة داخل القشرة الارضية تكون أكثر قابلية للتشوه اللدن من تلك التي توجد على السطح أو بالقرب منه وذلك نتيجة ارتفاع الحرارة مع العمق . فلقد أظهرت تجارب كثيرة أن ارتفاع درجة الحرارة عند ثبات ضغط عالي (أعماق من ١٥ - ٣٠ كم) يقود الى انخفاض حدود السيلان ويعيق تشكل الشقوق ويوسع مجال السلوك السيلاني للصخور. شكل (٢-١٥) .

ويجب الاخذ بعين الاعتبار أنه ليس كل الفلزات تسلك نفس السلوك . فمثلا بعد نزع مائية السربنتين التي تتم في الدرجة /٥٠٠/ يتحول الى الحالة الهشة وفي الدرجة / ٦٥٠ / يفقد لدونته ويتحول الى فورستريت أو تالك .

٢- تأثير الضغط الصخري المتوازن (الضغط الحابس)

يؤدي الضغط الحابس الى زيادة ملحوظة في عزم الانقطاع والمزق مع زيادة في حد المرونة النسبي وبالتالي فاننا نجد بأن الصخور التي تتصرف تصرف المواد الهشة تحت الضغط الجوي الواحد



شكل (٢-١٥) مخطط بياني يوضح تأثير درجة الحرارة والمحاليل على تشوه الرخام .

يمكن أن تتشوه تشوها لدنا ان هي وجدت تحت ضغط صخري متوازن مناسب أي على عمق مناسب داخل القشرة الارضية .

وقد أظهرت التجارب الكثيرة على الصخور أنه عند زيادة الضغط الصخري المتوازن تحدث زيادة ملحوظة فيعزم الانقطاع والمزق مع زيادة في حد المرونة النسبي . أي تزداد بشكل حاد قابلية هذه الصخور للتشوه اللدن .

٣- تأثير المحاليل :

تلعب المحاليل دورا هاما في التغيرات التي تصيبالكثير من الصخور، اذ تقوم في أكثر الاحيان بالتفاعلالكيمياني مع مكونات

الصخر وذلك في الفراغات البينية حيث تذيب هذه المحاليل الفلزات الاصلية الاولية وترسب فلزات أحدث . عدا ذلك فهي تقوم بدور زيت التشحيم فتسهل الانزلاق وتنقص الجهد اللازم لاحداثه .

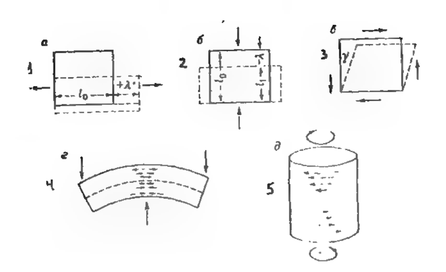
ويبين الشكل (٢-١٥) دور الرطوبة في الرخام ، حيث نلاحظ بأن العينة الرطبة التي تبلغ درجة حرارتها ١٥٠ درجة لها حدمرونة وانقطاع أقل بكثير من حد مرونة وانقطاع نفس العينة الجافة في نفس درجة الحرارة .

٤- تأثير الزمن :

ويعتبر من العوامل الهامة في التأثير على تشوه الصخور . فالصخور قد تتشوه ببطء اذا طبقت عليها قوى اجهاد صغيرة لمدة طويلة ويسمى هذا النوع من التشوه بالزحف وتعتبر الجاذبية الارضية من أهم عوامل زحف الصخور .

د- أنماط التشوه :

تتواجد الصخور في القشرة الارضية أحيانا تحت سماكات كبيرة من الرسوبات مما يجعل هذه الصخور تخضع في بعض الاحيان لمختلف أنواع الاجهادات التي تؤدي الى تشوه هذه الصخور. وتسمى القوى التي تشوه الصخور بالقوى الموجهة أو التمايزية Differential Forces ولها عدة أنواع يقابل كل منها نمط معين من التشوه. شكل (٢-١٦) .



شكل (٢-١٦) يوضح أهم أنماط تشوه الاجسام الصلبة

١- قوى الشد ، ٢- قوى الضغط ، ٣- قوى المزدوجة

٤- قوى الالتواء ، ٥ - قوى الفتل .

١- قوى الشد : Tensional Forces

وهي القوى التي تسعى الى شد أجزاء الجسم عن بعضها البعض وبالتالي تزيد هذه القوى أبعاد الجسم على طول خط تأثير القوى وتنقصها بالاتجاه العمودي عليه .

٢- قوى الضغط : Compressive Forces

وهي القوى الموجهة التي تؤدي الى كبس الجسم . وتنقص هذه القوى أبعاد الجسم على طول خط الضغط وتزيد ابعاده بالاتجاه العمودي عليه .

٣- قوى المزدوجة : Couple Forces

وتحصل عندما تعمل قوتان متعاكستان متوازيتان ومتساويتان في نفس المستوي .

٤- قوى الفتل : Torsion Forces

وهي القوى التي تدور بموجبها نهايتا قضيب في اتجاهين متعاكسين . والتشوهات الناجمة عن مثل هذه القوى نادرا جدا ماتحدث في الجيولوجيا العملية .

٥- قوى الالتواء :

في هذا النوع يتمدد الجزء الخارجي من الجسم ويتقلص الجزء الداخلي بينما يبقى الخط المتوسط على حاله دون تمدد أو تقلص .

وعند التشوهات يحدث ازاحة أو انتقال نسبي لجزئيات الصخور بالنسبة لبعضها البعض . فاذا كانت كل ذرات الصخور تتحرك أو تنتقل بنفس الكمية وبنفس الاتجاه يكون التشوه متجانسا . أما في حالة التشوه غير المتجانس فان ذرات الصخور تتمتع بمختلف التشوهات أو أنها تتوزع في اتجاهات مختلفة شكل (٢-١٦، ٤، ٥) وبشكل عام كل التشوهات يمكن أن تقود الى ثلاثة أنواع رئيسية بسيطة، انضغاط ، تمدد (شد) وقص (مزدوجة) .

فتشوهات الانضغاط والتمدد تتعين بعلاقة تغير طول الجسم ($\pm\lambda$) بالاتجاه المختار بالنسبة لطول الجسم الاولي(l_1)بنفس

الاتجاه أيضا شكل (٢-١٦ ، آ ٢٠) .

أما القص فتسببه عادة قوتان متساويتان تعملان في اتجاهين متعاكسين . وكمية الحركة أو الانزياح توصف بميل الزاوية (ψ) أو بنفس الزاوية في حالة الانزياح البسيط . شكل (٢-١٦-٣٠)

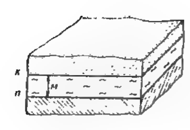
٢-٣-٢- أنواع التشوهات التكتونية :

مفهوم الطبقة والتطبق :

تتوضع الصخور الرسوبية كما ذكرنا أعلاه بشكل طبقـــات أفقية أو شبه أفقية ، والطبقة بالتعريف هي كل صخر رسوبي محاط بسطحين متوازيين وهي متجانسة بالتركيب والنسيج والصفات الفيزيائية الاخرى كما أنها تحتوي غالبا على نفس المستحاثات . وتختلف سماكة الطبقات حسب شدة ومدة عمليات توضع الرسوبيات . فالطبقات الاكثر سماكة تميز عادة التوضعات البحرية حيث تبلغ عشرات بل مئات الامتار أما التوضعات القارية المميزة في أغلب الاحيان للحقب الرابـــع ، فتملك على الغالب سماكات ليست كبيرة (١٠ ــ ٥٠ متر) .

في بنية الطبقة تحدد العناصر التالية شكل (٢-١٧) :

- البطح السفلي للطبقة وهو الحد الاسفل لها
- السطح العلوي للطبقة وهو الحد الاعلى لها .
- سماكة الطبقة الحقيقية وهي المسافة العمودية المقاسة بيـــن سطحي الطبقة العلوي والسفلي وأية سماكة أخرى تسمى بالســماكة الظاهرية . وتتغير سماكة الطبقة ويأخذ هذا التغير أشكالا مختلفة



شكل (٢-١٧) يوضح عناصر الطبقة وأشكال تغير سماكتها

- سطح الطبقة العلوي   - سطح الطبقة السفلي

- السماكة الحقيقية للطبقة .

شكل (٢-١٧) ويحدد وضع الطبقة في الفراغ بعناصر التوضع وهي :

- خط الاتجاه : وهو خط تقاطع سطح الطبقة مع المستوي الافقي أو بكلمة أخرى هو أي خط أفقي على سطح الطبقة . فمثلا الخط б – a على الشكل (٢-١٨) يمثل خط اتجاه وبالتالي على سطح الطبقة يمكن أن نحدد عدد كبير جدا من خطوط الاتجاه وهذه الخطوط جميعها تمتد متوازية في خطوط مستقيمة على مساحات متساوية فيما بينها .

شكل(٢-١٨)

يوضح عناصر التوضع

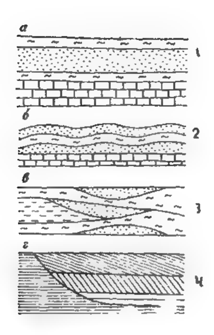
- خط الميل : وهو الشعاع العمودي على خط الاتجاه المتوضع على سطح الطبقة والمتجه في جهة ميلها. وخط الميل (δ δ) هو الخط الاكثر انحدارا بالنسبة للافق الذي يمكن انشاؤه على سطح الطبقة .

- زاوية الميل (α). وهي الزاوية الكائنة بين خط الميل ومسقطه على المستوي الافقي . ففي حالة التطبق الافقي تساوي هذه الزاوية الصفر وفي حالة التطبق العمودي تساوي / ٩٠ / درجة وهي تحدد بالاستعانة بالبوصلة الجيولوجية .

وعندما تتتالى الطبقات فوق بعضها البعض نحصل على ما يسمى بالتطبق الذي يدل على تغير الشروط الفيزيوكيميائية في أوساط الترسيب . ان صفات الانتقال من احدى الطبقات الى الاخرى يخولنا أن نحكم على التغيرات الفيزيائية الكيميائية للوسط التي حدثت عند توضع الرسوبات . وهذا الانتقال يمكن أن يكون حادا أو تدريجيا أو غير ملاحظ وعند دراسة التطبق يجب أن نولي أهمية لشكل وسماكة وعلاقة الطبقات مع بعضها البعض . وتعكس خصائص التطبق صفات حركة هذا الوسط الذي يتم فيه تراكم الرسوبات . ويميز عادة أربعة أنواع للتطبق هي التطبق المتوازي والتطبق المتموج ، والتطبق المائل المعترض ، وأخيرا التطبق العدسي الشكل (الشكل١٩) .

مفهوم عدم التوافق وأنواعه :

بشكل عام توجد حالتين للعلاقة بين الطبقات : في الاولى يستمر الترسيب بدون أي ضياع من التتابع الطبقي أي بدون توقف



شكل (٢-١٩) انواع التطبق

١- التطبق المتوازي ٣- التطبق المتموج

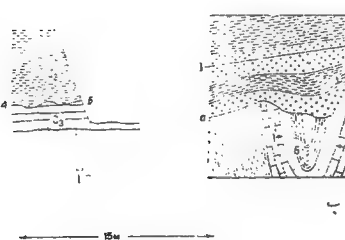
٢- التطبق العدسي ٤- التطبق المائل المعترض

عن الترسيب فيقال عندها عن الطبقات بأنها متوافقة، اما في الحالة الثانية فيظهر اضطراب في الترسيب او التوقف عنه لاسباب مختلفة مما يؤدي الى فقدان جزء من التتابع الطبقي فيقال عندها ان الطبقات غير متوافقة.

وبناء على ذلك يمكن ان نعرف عدم التوافق بأنه ثغرة او

انقطاع زمني في التتابع الطبقي نشأ عن تغيير في نظام الترسيب أدى الى توقف الترسيب لفترة معينة ويسمى هذا النوع من عدم التوافق بعدم التوافق الستراتيغرافي . وقد يتشكل عدم التوافق نتيجة الحركات التكتونية ويسمى بعدم التوافق التكتوني .

وبشكل عام نميز الحالات التالية من عدم التوافق (الشكل ٢-٢٠) .



أ

ب

جـ

شكل (٢ - ٢٠) أشكال عدم التوافق

آ- عدم توافق متوازي

ب- عدم توافق زاوي

جـ - عدم توافق خطي

ا- عدم التوافق الزاوي : -

ويعبر عن انقطاع في الترسيب أو ثغرة ترسيبية بين مجموعتين من الطبقات تملكان ميولا مختلفة • فالطبقات الدنيا (الاقدم) تعرضت للالتواء والطي أعقبها حت شديد ومن ثم توضـع [illegible] قيمته من / ٠ / و / ١٨٠ / درجة مئوية • فاذا كانت قيمة هذه الزاوية أقل من / ٣٠ / درجة يكون عدم التوافق الزاوي ضعيفا • واذا كانت أكبر من / ٣٠ / درجة يكون شديدا أو حادا •

٢- عدم التوافق المتوازي :

أهم مايميز هذا النوع من عدم التوافق هوأن الطبقات المتوضعة لم تتعرض للتشوه وانما تعرضت للتعرية ومن ثم غطيت بطبقات أحدث موازية للطبقات الاقدم •

٣- عدم التوافق الخفي (التباين):

وتتوضع فيه طبقات الصخورالرسوبية فوق صخور أخرى نارية أو متحولة •

وأخيرا فان التوضع الاولي للصخور يتغير ، فالطبقات تغير أوضاعها الافقية وتأخذ غالبا وضعا مائلا وتتشكل الشقوق وتحدث في أغلب الاحيان الحركات عبر هذه الشقوق مشكلة بذلك مايسمى

بالفوالق أي ينشأ هكذا وضع جديد نسميه بالتوضع اللاحق أو التوضع الثاني لصخور القشرة الارضية ، وبالتالي فان التشوهات التي تصيب صخور القشرة الارضية تقسم الى نوعين رئيسيين :

- تشوهات تصيب صخور القشرة الارضية دون أن تؤدي الى تخريب استمرارية هذه الصخور وهي مانسميها بالتشوهات التجعدية (الطيات) .

- تشوهات تؤدي الى تحطيم الصخور وتمزيقها وبالتالي تؤدي الى عدم استمرارية الوسط ويطلق عليها التشوهات التمزقية (الشقوق والفوالق) .

٢-٣-٢-١- التشوهات التجعدية (الطيات):

الطيات هي تجعدات أو انحناءات تصيب صخور القشرة الارضية ، وتعتبر نتيجة لعمليات التشوه اللدن للصخور ، فالتشوهات اللدنة التي تسبب تجعد الطبقات في الطيات تعكس بشكل عام الجهد في القشرة الارضية الذي يتعلق بشكل أساسي بالعمليات الجيولوجية الداخلية وأهم هذه العمليات هي الحركات التكتونية .

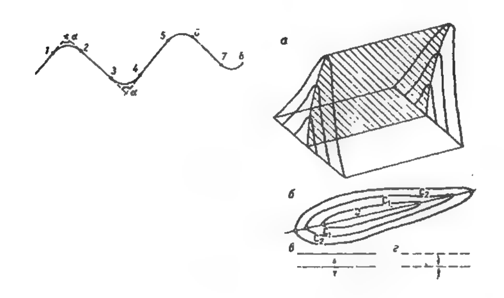
آ- عناصر الطيات :

يمكن تمييز العناصر التالية في الطيات شكل (٢-٢١) .

١- غلق الطية :

هو مكان الثني أو دخول أحد جناحي الطية في الاخر أو

بكلمات أخرى هو القسم المتشكل من التقاء جناحي الطية (١ ـ ٢ ، ٣ ـ ٤ ، ٥ ـ ٦ ، ٧ ـ ٨) على الشكل (٢-٢١) .



شكل (٢-٢١) عناصر الطية

α ـ المستوي المحوري للطية في المقطع .

Б ـ الخط المحوري (محور الطية) في المستوي .

وعند وصف الصخور التي تشكل الجزء المركزي من الطيـــة يستخدم مفهوم النواة .

٢ـ جناحا الطية :

هي الاجزاء الجانبية المائلة للطية التي تشكل طرفيهـــا الجانبين وقد يشترك جناح الطية الواحدة بين طيـة محدبة وأخـــرى مقعرة وقد يكون للجناحيـن ميل واحد أو ميليـن مختلفين .(٢ ـ ٣ ، ٤ ـ ٥ ، ٦ ـ ٧) على الشكل (٢-٢١) .

٣- زاوية الطية :

وهي الزاوية المتشكلة من التقاء مستوي جناحي الطيــة (   ) ٠

٤- المستوي المحوري :

هو المستوي الذي يمر عبر نقاط انحناء الطبقات التي توطف الطية وهو يقسم الطية الى قسمين متناظرين ٠

٥ - الخط المحوري أو محور الطية :

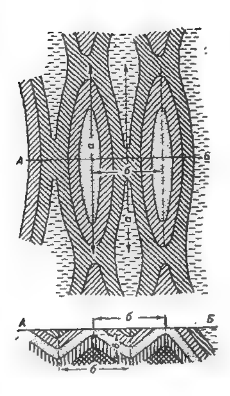
وهو الخط الناتج عن تقاطع المستوي المحوري مع سطح الارض وهو يصف اتجاه الطية في المستوي ٠ ويتحدد وضعه بسمت الاتجاه على الخريطة وهو يوجد بطريقة الوصل بين النقاط المتوضعة في أمكنة تقوس الطبقات ٠

٦ - خط المفصلة :

وهو الخط الناتج عن تقاطع المستوي المحوري مع سطح احدى الطبقات المشكلة للطية ٠ وبالتالي في كل طية يمكن تمييز عدد من خطوط المفصلة مقدار عدد الطبقات التي تتألف منها الطية ٠

٧- أبعاد الطية :

وهي طول وعرض وارتفاع الطية شكل (٢-٢٢) ٠



شكل (٢-٢٢) يوضح أبعاد الطية (B ، Б ، a) في المستوي وعلى المقطع AБ .

a ـ طول الطية b ـ عرض الطية B ـ ارتفاع الطية

فطول الطية هو المسافة على طول الخط المحوري والتي تلاحظ فيها الطية (a) ، أما عرض الطية فهو المسافة المقاسة بين محوري طيتين متجاورتين أو مقعرتين (b) ، بينما ارتفاع الطية يمثل المسافة العمودية بين غلق طية محدبة وأخرى مقعرة مجاورة لها مقاسة لنفس الطبقة .

ب ـ تصنيف الطيات :

تقسم الطيات بشكل عام الى نوعين رئيسيين طيات محدبـــــة

وأخرى مقعـرة .

فالطيات المحدبة : هي الطيات التي تتوضع في مراكزهـا تشكيلات أقدم عمرا من تشكيلات الجوانب وتكون جهة الغلق فيهـا نحو الاعلى . أما الطيات المقعرة فهي الطيات التي تتوضع فـي مراكزها تشكيلات أحدث عمرا من تشكيلات الجوانب وتكون جهة الغلـق فيها نحو الاسفل .

الا أنه بشكل عام تصنف الطيات اعتمادا على أسـس مختلفة من أهمها شكل الطيـات ومنشأها . فالتصنيف الـذي يعتمد على شكل الطيات يسمى التصنيف المورفولوجي ، أما التصنيف الذي يوضح ظروف تشكل الطيات فيسمى التصنيف المنشىء . ويأخـذ كلا التصنيفين بعين الاعتبار مختلف خواص الطيات ، لذلك مـن الصعب الفصل بينهما بل يكملا بعضهما البعض .

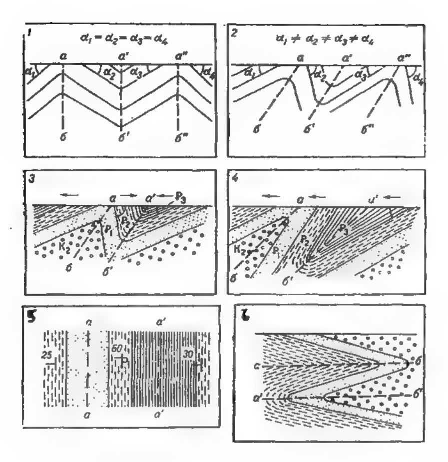
ا- التصنيف المورفولوجي للطيات :

وفي هذا التصنيف يتم تقسيم الطيات حسب عدة أسس أهمها :

آ- وضعية المستوي المحوري،وتميزهنا الانواع التالية :

ا- الطيات المتناظرة :

ويكون المستوي المحوري فيها عموديا وزاوية ميل الجناحين متساوية شكل (٢-٣٣) .



شكل (٢-٢٣) يوضح أهم أنواع الطيات حسب وضعية المستوي المحوري

١- متناظرة ٢- لامتناظرة ٣- مائلـــة

٤- مقلوبة ٥ - مقلوبة (في المستوي) ٦- مستلقية

٢- الطيات اللامتناظرة :

ويكون مستويها المحوري مائلا أو أفقيا وزاويـــة الجناحين مختلفة وهي تقسم بدورها الى الانواع التالية :

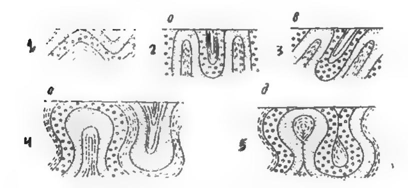
- الطيات المائلة : ويكون ميل الجناحين في اتجاهيـــن متعاكسين بزوايا ميل مختلفة ويكون مستويها المحوري مائلا.

- الطيات المقلوبة : يكون مستويها المحوري مائلا ويميل جناحاها بنفس اتجاه ميل المستوي المحوري .

- الطيات المستلقية : مستويها المحوري أفقي ويكون الجناح المعكوس أرق من الجناح العادي ويميز هذا النوع مناطق الطي الشديدة .

ب - العلاقة بين أجنحة الطيات :

وتميز الانواع التالية شكل (٢-٢٤) .



شكل (٢-٢٤) أشكال الطيات حسب العلاقة بين الأجنحة

١- الطيات الزاوية ٢ - ٣- طيات متساوية الميل

٤-٥- طيات مروحية

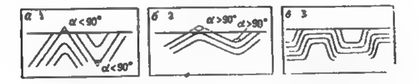
١- الطيات الزاوية : وفيها يشكل جناحا الطية عند الغلق زاوية حادة أو منفرجة .

٢ـ الطيات المروحية :
وتكون الطبقات في هذا النوع من الطيات متوضعة بشكل مروحي . نواة هذه الطيات تكون غالبا مفصولة عن بقية الاجزاء ، والجناحان يميلان باتجاه بعضهما البعض في الطية المروحية المحدبة ويبتعدان في حالة الطية المروحية المقعرة .

٣ـ الطيات المتساوية الميل :
وفيها يكون جناحا الطية متوازيان . وقد يكون الجناحان بشكل عمودي أومقلوب .

جـ ـ حسب شكل الغلق :

وتقسم الطيات حسب شكل الغلق الى الانواع التالية : (الشكل٢ـ٢٥)



الشكل (٢ـ٢٥) أنواع الطيات حسب شكل الغلق

١ـ طيات حادة ٢ـ طيات منفرجة ٣ـ طيات صندوقية

١ـ الطيات الحادة :
وتكون زاوية الطية أقل من/٩٠/درجة

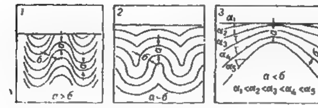
٢ـ الطيات المنفرجة :
زاوية الطية أكثر من /٩٠/درجة .

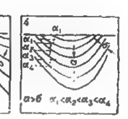
٣ـ الطيات الصندوقية :
وهي طيات ذات غلق مسطح ويميل

جناحاها بشكل عمودي تقريبا .

د- حسب تغير سماكة الطبقات في الاجنحة وفي منطقة الغلق :

وتميز الانواع التالية : (شكل ٢-٢٦) .





شكل (٢-٢٦) يوضح أنواع الطيات حسب تغير سماكة الطبقات في الاجنحة وفي منطقة الغلق .

١- متشابهة ٢- متوازية ٣- محدبة رقيقة القمة

٤- مقعرة سميكة الغلق .

١- الطيات المتشابهة : وفي هذه الطيات تكون سماكة الطبقات في الاجنحة أقل منها في منطقة الغلق ، ولايتغير شكل الغلق مع العمق .

٢- الطيات المتمركزة (المتوازية) : وتكون سماكة الطبقات واحدة في الاجنحة ومنطقة الغلق ، ومع العمق يتغير قطر الانحناء أو التقوس فالمحدبات تصبح أكثر حدة والمقعرات أكثر اتساعا .

٣ـ الطيات المحدبة رقيقة القمة :

وتكون سماكة الصخور في منطقة الفلق أقل منها في الاجنحة وذلك من جراء زيادة ميل الاجنحة مع العمق •

٤ـ الطيات المقعرة سميكة الفلق :

وتكون فيها سماكة الصخور في منطقة الفلق أكبر منها في الاجنحة •

٢ـ التصنيف المنشيء للطيات :

ان مسألة نشوء وتطور الطيات في القشرة الارضية تستحوذ على اهتمام الباحثين • فحتى الوقت الحاضر لم توضح كل جوانب هذه المسألة • والتجارب الكثيرة المتراكمة نتيجة الدراسات الجيولوجية تشهد على تنوع وتعقيد عمليات الطي التي تعكس مختلف جوانب تطور القشرة الارضية وهي تظهر بشدات مختلفة في الزمان والمكان وبعلاقة كاملة مع الخواص الفيزيائية للصخور وظروف الوسط المحيط • وبشكل عام فان معرفة آلية تشكل الطيات هامة جدا وهي تتعلق بالظروف الترموديناميكية والجيولوجية السائدة ، فبحسب هذه الظروف تقسم الطيات الى الانواع التالية : شكل (٢ـ٢٧) •

آ ـ الطيات الانحنائية :

وتتشكل بشكل أساسي نتيجة قوى كبس أو مزدوجة على الطبقات فالطيات المتشكلة عند ضغط باتجاه موازي للتطبق تسمى بالطيات ذات الانحناء الطولي شكل (٢ـ٢٧) أما الطيات ذات الانحناء

شكل (٢-٢٧) يوضح التصنيف المنشىء للطيات

١- طيات ذات انحناء طولي ٢- طيات ذات انحناء عرضي

٣- طيات سيلانية ٤- طيات انزلاقية أومقصية

العرضي فتنشأ عند ضغط باتجاه عمودي على التطبق .

ب - الطيات السيلانية :

وتتشكل عند السيلان اللدن للمواد بشكل موار للتطبق ، أو عند تغلغل مواد أحد الاجسام الجيولوجية ضمن جسم آخر (ضمن الطبقة أوبين الطبقات) ، ومثل هذه الطيات تصادف غالبا في الصخور التي تتمتع بلدونة عالية (الغضار ، الجص ، الملح) وفي مناطق التحول العالي حيث تتمتع الصخور باللدونة من جراء الضغط العالي والحرارة المرتفعة والاشباع بالمحاليل المائية . (شكل ٢-٢٧) .

ج - الطيات الانزلاقية أوالمقصية :

وتنشأ نتيجة الحركة عبر تكسرات وفواصل متقاربة من بعضها وفي اتجاه عمودي على اتجاه الضغط شكل (٢-٢٧)، وفي النتيجة تتشكل طيات متشابهة تتميز بخاصية ثبات سماكة الطبقة

المشوهة . ويمثل هذا النوع من الطيات وضعا وسطا بين الطيات والتشوهات التمزقية .

٢-٣-٢-٢- التشوهات التكتونية التمزقية :

لقد عرفنا سابقا من سلوكية المواد أن الصخور تتشوه في البداية تشوها مرنا ثم تنتقل الى مرحلة التشوه اللدن و اذا مازادت قوى الاجهادات التكتونية عن حدود ثبات هذه الصخور تتشكل في هذه الصخور تمزقات وانقطاعات . فاذا حدثت هذه التمزقات دون حدوث ازاحة أو انتقال للصخور ففي هذه الحالة تسمى بالتشققات أو الشقوق ، واذا ماترافقت هذه التمزقات مع ازاحة نسبية للكتل المنفصلة تسمى الحادثة عندها بالفوالق التي يمكن أن تمتد لمسافات بعيدة . نبدأ بالحادثة الاولى وهي التشقق .

أ- التشقق :

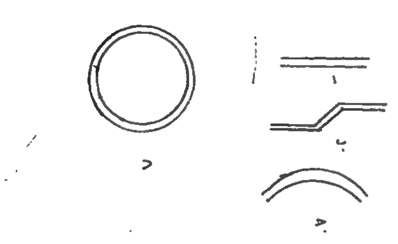
سندرس هنا :

١- تعريف الشقوق وأنواع شبكاتها :

الشقوق هي عبارة عن كسور تحدث في القشرة الارضية وتنعدم فيها الحركة عبر مستويات الشق . الا أن هذا المفهوم لاجزاء كثيرة من فروع الجيولوجيا الحديثة يعتبر ناقصا، فمثلا في جيولوجيا الماء والنفط وفي الجيولوجيا المنجمية اصطلح على

تسمية الشقوق بالمستويات ذات الاشكال المعقدة والمملوءة بالماء والنفط وغيرها من المواد المعدنية .

توجد الشقوق بأشكال مختلفة فقد تكون خطية أو حلقيــة أو سلمية أو منحنية . شكل (٢-٢٨) .



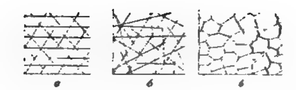
شكل (٢-٢٨) أشكال تواجد الشقوق

آ- خطية ب - سلمية جـ - منحنية د- حلقية

وتوجد هذه الشقوق عادة مجتمعة على شكل شبكات تتخـــذ أشكالا مختلفة فهناك شبكة الشقوق النظامية والعشــــوائية والمضلعــة . شكل (٢-٢٩) .

٢- تصنيف الشقوق :

تمتاز الشقوق بشكل عام بوجود عناصر ثلاثة هي طول الشــق وعرضه (اتساعه) وزاوية ميله . فطول الشق يتراوح بين بضـــعة ســنتمترات وعشرات بل مئات الكيلو مترات وحسب اتساع الشــق



الشكل (٢-٢٩) يوضح بعض أنواع شبكات الشقوق

آ- النظامية

ب - العشوائية

ج - المضلعة

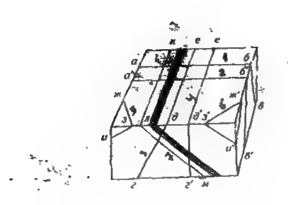
يمكن ان تكون الشقوق مجهرية لاترى بالعين المجرّدة أو شقوق ظاهرة تكون مملوءة في أغلب الاحيان بمواد مختلفة ٠ أما حسب ميل الشقوق فيمكن أن تكون أفقية يتراوح ميلها بين (٠-١٠ م) أو متوسطة الميل بين ٣٠ - ٥٠ درجة أوشديدة الميل (٥٠-٨٠) درجة وبشكل عام تصنف الشقوق اما اعتمادا على الناحية الهندسية وهذا التصنيف لايفسر طبيعة الشقوق أوأنها تصنف اعتمادا على الناحية المنشئية وهذا التصنيف أكثر شمولية وموضوعية من الناحية الجيولوجية ٠

آ- التصنيف الهندسي للشقوق :

ويعتمد هذا التصنيف بشكل عام على علاقة وضع الشقوق مع حالة التطبق وهنا يمكن تمييز الانواع التالية (الشكل ٢-٣٠) ٠

١- شقوق الميل :

وهي الشقوق ذات الاتجاه العمودي على اتجاه التطبق



الشكل (٢-٣٠) التصنيف الهندسي للشقوق

الخط الاسود العريض يرمز الى الطبقـــة

١، ٢ ـ شقوق الميل .

٣ ،٤ـ شقوق الاتجاه .

٥ ،٦ـ الشقوق المنحرفة المائلة.

٧ـ شقوق التطبق .

في المستوي اي ان اتجاه الشق يملك نفس اتجاه ميل الطبقات .

٢ـ شقوق الاتجاه : وتكون موازية لاتجاه التطبق في المستوي،لكنها تقطع التطبق في المقاطع العمودية .

٣ـ الشقوق المنحرفة المائلة وتتجه هذه الشقوق باتجاه يتوضـــع بين اتجاه الطبقات وبين خط اتجاه ميل الطبقات ،اي ان هـــذه الشقوق تتجه منحرفة بالنسبة لاتجاه الطبقات ولاتجاه ميلهـــا .

٤ـ شقوق التطبق : وتكون موازية للتطبق في المستوي وفي المقطـــع العمودي .

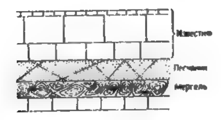
ب ـ التصنيف المنشئي للشقوق :

وتقسم الشقوق بشكل عام حسب آلية تشكلها الى نوعين رئيسيين:

١ـ الشقوق العائدة للقوى اللاتكتونية :

ويرتبط تشكل مثل هذه الشقوق بالخواص الداخلية للصخور وذلك تحت تأثير القوى التي تظهر بفعل العمليات الجيولوجيـــــة الخارجية التي تحدث على سطح القشرة الارضية او بالقرب منـــه وهي بدورها تقسم الى الانواع التالية :

آ ـ الشقوق الاولية : وتتشكل نتيجة القوى الداخلية التي تنشأ في الصخور نتيجة جفافها او تصلبها او تغيير حجمها اودرجة حرارتها او تغيير شروطها الفيزيوكيميائية ،وهي تتشكـــل في الصخور في مرحلة الدياجينيز ، وترتبط بطبقات معينة ولا تقطع سماكات كبيرة من الطبقات كما انها تأخذ اوضاعـــا مختلفة بالنسبة لاتجاه الطبقات فقد تكون عمودية او طائلية او موازية ، شكل (٢ـ٢١)،



الشكل (٢ـ٢١)اشكال الشقوق الاولية

اما في الصبات البازلتية فان الشقوق الاولية تتشكل فيهـــا تحت تأثير الاجهادات التي تتشكل نتيجة تبرد هذه الصبات، فمثلا تبرد الصبة البازلتية من الدرجة(١٠٠٠ درجة مئوية او اكثر الى الدرجة العادية من الحرارة سيؤدي الى نقص الحجم وتقلص هذه العينة وبالتالي

تتشكل قوى شد مطية متساوية في جميع الجهات ضمن المستوى الافقي وتتشكل نتيجة لذلك ثلاثة شقوق عمودية تصنع فيمـا بينها زاوية مقدارها ١٢٠ درجة مئوية تنتشر ... لتعطي الاعمدة السداسية الشائعة في البازلت .

ب ـ شقوق التجوية وازالة الثقل : تفقد الصخور متانتها وتماسكها عند عمليات التجوية فتخريب الصخور يحدث بفعل توسيع الشقوق الموجودة اصلا (الشقوق الاولية) او بفعل نشوء شقوق جديدة . وتتشكل هذه الشقوق الجديدة بشكل اساسي بفعل التدرج الحراري وتعتبر شقوق انقطاع وتسمى بالشقوق ذات المسافات القصيرة وهي تنتشر لاعماق محددة من ١٠ الى ١٥ متر وفي حالات نادرة جدا قد تصل الى ١٥ـ٣٠ متر وهناك بعض الصخور تقع تحت سماكات كبيرة من الرسوبات التي تضغط على هذه الصخور بشدة وبمجرد تحرر هذه الصخور من تلك القوى الضاغطة تبدأ بالتمدد بالفراغ مما يقود الى تشكيل شقوق الانقطاع التي تكون موازية لسطح الصخور في الهضاب والمنخفضات ولقد ايدت الكثير من الظواهر الحقلية ان اصل ومنشأ هذه الشقوق هو عبارة عن ظواهر شد ناتجة عن انفكاك وازالة الثقل اثناء عمليات الحت اكثر من كونها ناتجة عن عمليات التبريد كما يظن بعض الجيولوجيين .

جـ الشقوق العائدة للقوى التكتونية :

وتظهر هذه الشقوق في الصخور تحت تأثير القوى التكتونية التي تنشأ تحت تأثير مختلف العمليات الجيولوجية الداخلية .

فالتشوهات التي تسببها هذه القوى تترافق في أغلب الاحيان بشكل الشقوق التي تنتشر لمسافات كبيرة جدا مخترقة بذلك مختلف التشكيلات تختلف هذه الشقوق عن الشقوق اللاتكتونية باستمراريتها ومحافظتها على الاتجاه وذلك عند اختراقها لمختلف التشكيلات الجيولوجية الموجودة .

وبشكل عام تتعلق هذه الشقوق بقوى الشد الاقليمي والنهوض الشاقولي وكذلك بقوى الضغط والمزدوجة الاقليمية .

٣ـ أهمية دراسة التشققات :

تملك دراسة التشققات أهمية كبيرة بالنسبة لمختلف العلوم الجيولوجية ، فشبكة الشقوق في الصخور تحدد الخواص الميكانيكية لهذه الصخور وهي تعطي فكرة عامة عن تشوه القشرة الارضية وتعتبر دليلا هاما عند عمليات التنقيب عن مكامن الثروات المعدنية واللامعدنية ، فهي قد تلعب دورا ايجابيا اذ أنها تزيد كثيرا من نفاذية الصخور وبالتالي تسمح بتشكل احتياطي كبير من النفط والغاز والمياه الجوفية ، كما أنها تحتوي في كثير من الاحيان على عروق معدنية هامة . ومن ناحية أخرى تلعب الشقوق دورا سلبيا حيث تنقص متانة الصخور وتؤدي الى حدوث الانزلاقات والانهيارات الصخرية . لذلك عند دراسة التشققات لابد في البداية من التقدير الكمي لها . وتستخدم لتقدير شدة التشققات في الصخور عدة طرائق أهمها الطريقة التي تعتمد على استخدام العلاقة التالية :

$$K = \frac{F.100}{S} \%$$

حيــث :

F – مجموع مساحة الشقوق (الطول x العرض) في المنطقةالمدروسة

S – مساحة هذه المنطقة

وتبعا لهذه النسبة قسمت الصخور الى عدة أنواع هي :

– صخور ضعيفة التشقق حيث تقل نسبة التشققات فيها عن ٢ ٪

– صخور متوسطة التشقق وتتراوح نسبة التشققات فيهـــا بين ٢ – ٥ ٪ .

– صخور شديدة التشــقق تبلغ نسبة التشققات فيها ٥ – ١٠ ٪

– صخور شــديدة التشـقق جدا وتزيد نسبة التشققات فيها عـن ١٠ ٪ .

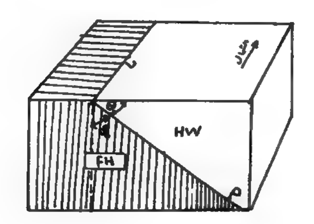
ب – الفوالـق :

يعرف الفالق بأنه كسر حدث عليه انزلاق الكتل المتاخمـــة واحدة عكس الاخرى ، بحيث أن النقاط التي كانت متماسة سابقا قد تزحزحت أو انتقلت بمحاذاة الكسر. بتعبير آخر هو الصدع الـــذي تحتل بواسطته كتلة صخرية محل أخرى غيرها. وتكون الفوالـــــق واضحة المعالم في بعض المناطق حيث يكون خط الفالق الناتج عــن تقاطع مستوي الفالق مع سطح الارض على المعالم كخط مستقيم وقـــد يكون خط الفالق غير منتظم في بعض المناطق ذات التضاريس المتغيرة الارتفاعات . ويختلف امتداد الفالق من أجزاء المتر الى بضـــعة مئات من الامتار . وقد يصل أحيانا الى مئات من الكيلومترات . كذلك قد تكون الحركة الفالقية عبر مستوي واحد هو مستوي الكســر الا انه في بعض الاحيان قد تحدث الحركة عبر عدة كسور ضمن نطاق يسمى

بالنطاق الفالقي وقد يحدث خلال فترة واحدة من الزمن أو خـــلال فترات متلاحقة .

١ـ عناصر الفالق الاساسية :

يتحدد الفالق فراغيا بمجموعة من العناصر هي التاليـة (شكل ٢ ـ ٣٢) .



شكل (٢-٣٢) يوضح بعض عناصر الفالق الاساسية

ө ـ ميل الفالق   φ ـ زاوية الفالق الرأسية

ا ـ خط الفالق   P ـ مستوى الفالق

HW ـ الجدار المعلق   FH ـ الجدار السفلي

آـ المستوي الفالقي :

وهو المستوي الذي يحدث عبره الكسر وانزلاق الكتـل الصخرية عن بعضها وقد يكون هذا المستوي عموديا أو مائلا أوملتويا كما أنه في أغلب الأحيان يكون أملسا كما لو أنه خضع لعمليـة صقل مما حدا بالبعض أن يسميه بمرآة الفالق .

ب - ميل الفالق :

وهو الزاوية المقاسة بين المستوي الافقي والمســـــتوي الفالقي وتتراوح بين الصفر و ٩٠ درجة ، ويعتبر الفالق شديدالميل عندما تكون زاوية ميله أكثر من ٤٥ درجة .

ج - خط الفالق أو أثر الفالق :

وهو تقاطع مستوي الفالق مع سطح الارض .

د - اتجاه الفالق :

وهو اتجاه خط أفقي واقع في مستوي الفالق .

هـ - الجدارالمعلق :

وهو الكتلة الصخرية التي تستند على مستوي الفالـــــــق ويسمى أحيانا بالجدار الصاعد .

و - الجدار المستلقي :

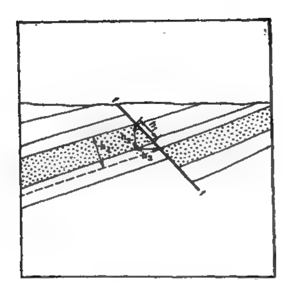
وهوالكتلة الصخرية التي تقع تحت مستوى الفالق ويســـــمى أحيانا بالجدار الهابط .

ز- زاوية الميل الرأسية :

وهي الزاوية المتممةلزاويـــة ميل الفالق .

ح - رمية الفالق أوالانزلاق الفالقي :

وهو الانزياح النسبي لنقطتين كانتا متجاورتين على طرفـي الفالق مقاسا في مستوي الفالق شكل (٢-٣٢) ولها أنواع :



شكل (٢-٣٣)يوضح مختلف أنواع رميات الفالق
- رمية حقيقية h_1 - شاقولية h_2 - أفقية - h_4 - طبقيــة .

- الرمية الشاقولية (h_2) وهي مسقط الانزلاق الحقيقي على مستوي عمودي .

- الرمية الافقية (h_3) مسقط الانزلاق الحقيقي على مستــوي أفقــي .

- الرمية الطبقية (h_4) وهي المسافة العمودية بيــــن الطبقات المنزلقة .

٢ـ تصنيف الفوالق :

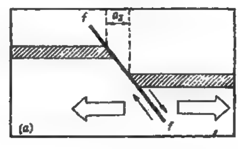
يمكن تمييز عدة أنواع من الفوالق وذلك استنادا الى :

- طبيعة الازاحة فيها
- المنشأ
- اتجاه حركة الاجنحة
- زاوية الميل

وبشكل عام يمكن تمييز الانواع التالية :

آـ الفوالق العادية :

وتنشأ هذه الفوالق عندما تتعرض الطبقات الصخرية لقوى شد يتبعها كسر وانتقال كتلي للصخر في اتجاه قوى الشد ولكن على مستوى الكسر، وتكون الحركة الظاهرية للجدار المعلق نحو الاسفل. تتراوح زاوية الميل في هذه الفوالق في أغلب الاحيان بين ٤٠ و ٦٠ درجة ، ويلاحظ أنه ينتج من حدوث الفوالق العادية ازدياد طول المسافة الافقية التي كانت تغطيها الطبقات من قبل شكل (٢ـ٢٤)

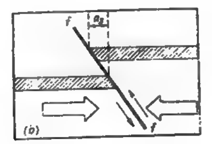


شكل (٢ـ٢٤) يمثل فالق عـــادي

توجد الفوالق العادية في أغلب الاحيان مجتمعة ونادرا ماتوجد بشكل انفرادي . ويسمى المنخفض المحدد بفوالق عادية تميل مستوياتها لتتقابل في الاسفل بالغور أما النجد فهو المرتفع المحدد بفوالق عادية تميل مستوياتها لتتقابل مع بعضها في الاعلى.

ب- الفوالق العكسية :

وتنشأ هذه الفوالق نتيجة التشوه الناجم عن قوى الضغط المؤثرة في صخور القشرة الارضية . فاذا مازادت هذه القوى عن مقدار مايمكن أن تتحمله الصخور ، حدث كسر وانزلقت كتل الصخور على جانبي الفالق في اتجاه مضاد على عكس مايحدث في الفالق العادي. وتكون الحركة الظاهرية للجدار المعلق نحو الاعلى أي أن الجناح المستلقي يكون هابطا والجناح المعلق مرتفعا . وهنا تتقلص كتلة القشرة الارضية في منطقة الفالق العكسي بمقدار الانزلاق الفالقي شكل (٢-٣٥) .

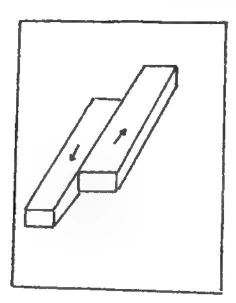


شكل (٢-٣٥) يمثل فالق عكسي

وتكون زاوية الميل في هذه الفوالق في أغلب الاحيان أكبر من ٦٠ درجة . ويسمى المنخفض المحدد بفوالق عكسية بالغور العكسي والنجد بالنجد العكسي .

جـ ـ الفوالق الجانبية :

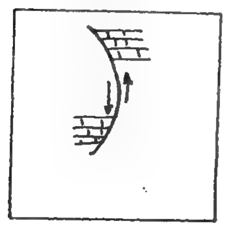
وتكون حركة الكتل المتصدمة في اتجاه أفقي شكل (٢-٣٦)٠



شكل (٢-٣٦) فالق جانبي

د ـ الفالق الاسطواني :

وتتم الحركة فيه عبر سطح مقوس شكل (٢-٣٧) ٠



الشكل (٢-٣٧)

فالق اسطواني

هـ - الفالق المطابق :

وفيه تميل الطبقات في نفس اتجاه ميل الفالق

جـ القرائن الدالة على الفالق :

هناك العديد من الدلائل أو القرائن التي تساعد في التعرف على الفوالق وأهمها :

أ - انقطاع البنية حيث تنتهي الطبقات بصورة مفاجئة لتبدأ طبقات أخرى مختلفة منها ولكن يجب الاخذ بعين الاعتبار بأن هذا الانقطاع قد يكون ناجما من عدم توافق أو انخساف مهلي .

ب - تكرار بعض الطبقات أو زوالها .

ج - وجود علامات مميزة للفالق كالبريشا الفالقية والميلونيت الذي هو عبارة عن بريشا مجهرية اكتسبت تماسكا معينا نتيجة التشوه وعملية السحق عبر الفالق وهي ذات ألوان قاتمة يصعب في كثير من الاحيان تمييزها عن الصخور الرسوبية .

د - وجود الينابيع العادية منها أم الحارة على استقامة واحد، لكن يجب أن يترافق هذا مع مؤشرات أخرى اذ ليس بالضرورة أن يكون هذا الوجود مرتبط فالقيا .

٢-٣-٢- أسباب التشوهات التكتونية :

يعود تشكل معظم التشوهات التكتونية الموجودة على سطح الارض الى أصل تكتوني ، وقد وضعت نظريات عديدة لتفسير أسباب تشكل هذه التشوهات وأهمها :

١- نظرية التقلص :

وضعت في عام ١٨٥٢ من قبل الجيولوجي الفرنسي ايلي دوبومونت ، وهي تستند على فرضية التبرد المستمر للارض مما يسبب تناقصا في قطر محيط الكرة الارضية يؤدي الى خفض القشرة ، وتعتمد هذه النظرية على أن تشكل الارض كان من كتلة مائعة ذات حرارة عالية ، وقد أدى تبرد هذه الكتلة المائعة التدريجي الى انضغاطها وتجعد سطحها من جراء قوى الضغط الموجودة ، وتشكلت في النهاية التشوهات التكتونية المعروفة .

ولقد وجهت لهذه النظرية انتقادات كثيرة من أهمها أنها لاتفسر السبب الذي أدى الى تمركز الالتواءات في أحزمة ضيقة مع أنه من المفروض أن يتأثر كل سطح الارض بهذه الالتواءات . وأيضا فان قوى الضغط الجانبي يجب أن تؤدي الى تشكل طيات مروحية بينما نلاحظ بأن معظم الالتواءات المعروفة تميل باتجاه واحد . وأخيرا فهناك الرأي القائل بأن الارض تسخن مجددا نتيجة الحرارة الناجمة عن النشاط الاشعاعي والتفاعلات الكيمياوية في باطن الارض مما يؤدي الى هدم الاساس الذي بنيت عليه هذه النظرية .

٢- نظرية انسياح القارات :

نشأت هذه النظرية على أساس أن القارات الموجودة الان كانت في البداية كتلة واحدة كبيرة تدعى بنغيا Pengea متمركزة حول منطقة القطب الجنوبي ومن ثم تجزأت هذه الكتلة وأعطت القارات التي نشاهدها اليوم. وقد تم هذا خلال مراحل الزمن الجيولوجي الذي استمر حتى الدور الجيولوجي الرابع .

ولقد أدت حركات هذه القارات الى تجعد الرسوبات وخاصة في جبهاتها الامامية ، مما أدى الى تشكل السلاسل الجبلية مثل جبال الهيمالايا وجبال الباسيفيك الممتدة على طول أطراف غرب أمريكا .

ان التشابه الكبير في الشكل بين الشواطىء الامريكية والافريقية للاطلسي بالاضافة الى تطابقات جيولوجية ومناخية وباليونتولوجية يجعل الكثير من الجيولوجيين يقبل بهذه النظرية ولقد أيدت الدراسات الجيوفيزياثية الحديثة وخاصة الباليو مغناطيسية صحة هذه النظرية .

٣- نظرية تكتونية الصفائح :

جوهر هذه النظرية يقوم على أن القشرة الارضية تقسم الى ست صفائح كبيرة وعدة صفائح صغيرة. وتقع حدود هذه الصفائح على خط التماس مابين المحيط والقارة أو في المحيط أو في القارة. وتعتبر طبيعة الحركة النسبية مابين الصفائح احدى النواحي الهامة في نظرية تكتونية الصفائح .

ان الحركات النسبية لهذه الصفائح ثلاثة أنواع هي :

١- حركة انفراجية :

وهي تتعلق بتباعد الصفائح وتعددها وتسمى الحدود في هذه الحالة بالحدود البناءة Constructive Margins

٢- حركة تقاربية :

وهي حركة الصفائح باتجاه بعضها وتسمى الحدود في هذه الحالة بالحدود الهدامة Destructive Margins

٣- حركة تحولية : Transform

أو انزلاق الصفائح المتماسكة مقابل بعضها أفقيا وتسمى الحدود في هذه الحالة بالحدود المحافظة Conservative Margins .

وتتدفق اللافا البازلتية على قاع المحيطات عند الحدود البناءة مما يؤدي الى توسع قاع المحيطات وتعرف هذه الظاهرة بتوسع قاع المحيط . واذا كانت مساحة سطح الكرة الارضية قد بقيت ثابتة تقريبا ولم تزداد كثيرا نتيجة لاضافة قشرة جديدة من توسع المحيط،فهذا يعني أن نشوء القشرة الجديدة على حدود الصفائح المتباعدة يجب ان يتعادل مع تهدم القشرة في مكان آخر. وهذا المكان هو حدود صفائح الغلاف الصخري التقاربية حيث ان هذه الصفائح تتحرك باتجاه بعضها البعض.

ويمكن أن يحصل واحدا من ثلاثة أشياء نتيجة تصادم هذه الصفائح : فعند تقارب صفيحتين محيطيتين فان احداهما تغوص تحت الاخرى وتعود الى اللب ليعاد انصهارها وتنشط البراكين بشكل أساسي فوق الصفيحة الهابطة . أما عند تقارب صفيحتين قارية ومحيطية فان الصفيحة المحيطية تغوص تحت القارية مؤدية الى التواء الرسوبات المكونة للقشرة القارة والى تشكل الجبال والبراكين والزلازل . وأخيرا عند تقارب صفيحتين قاريتين يتكون نطاق معقد البنية من نطق نشوء الجبال .

++++++++++

٢-٤- الزلازل

٢-٤-١- مقدمة عامة :

الزلازل او الهزات الارضية هي عبارة من حركات اهتزازية فجائية سريعة وخاطفة تدوم عادة ما يقارب الدقيقة من الزمن تصيب القشرة الارضية وتسببها عوامل طبيعية نتيجة تقلصات تحدث في القشرة الارضية، وكذلك نتيجة عدم استقرار الارض في باطنها ،وتحدث هذه التقلصات بفعل عوامل تكتونية مختلفة وتكون في اتجاهات مختلفة.

وتسبب الهزات الارضية في اغلب الاحيان ضحايا بشرية واضرار مادية فادحة. فمثلا معدل ضحايا الهزات الارضية التي تجتاح تركية حسب المعلومات المنشورة يقدر ب ١٢٠٠٠ قتيل في كل زلزال يحدث من فترة لاخرى عدا الخسائر المادية الفادحة. وكذلك تفيد المعلومات المنشورة عن الحوادث الزلزالية التي اجتاحت ايران بأن الهزات الارضية تسبب في كل مرة خسائر بالارواح تقدر ب ١٠،٠٠٠ قتيل .

تتعلق القوة التدميرية للزلازل بشدتها (اي بكمية الطاقة المتحررة) ،كما انها تتعلق بعمق انتشار البوءرة او المركز الداخلي للهزة . ويسمى مسقط هذه النقطة على السطح بالمركز السطحي . وقد يقع المركز العميق تحت قاع البحر مما يوءدي الى تشكل ما يسمى

بالزلازل البحرية التي تحدث امواجا هائلة تسمى تسونامي يصل ارتفاعها احيانا الى ٢٠-٣٠ مترا وتنتشر بسرعة تصل الى ٨٠٠ كم/سا حيث تكتسح السواحل مسببة بذلك كوارث هائلة.

ولقد كان اشهر لزلازل الذي لعب دورا كبيرا في تضافر جهود العلماء لتطوير علم السيسمولوجيا (او علم دراسة الزلازل) هو الزلزال الذيحدث عام ١٩٢٣ في اليابان حيث خرب هذا الزلزال (٥٧٠،٠٠٠) مسكن في مدينة طوكيو وحدها وهلك فيها (١٧٠،٠٠٠) انسان وجرح اكثر من (١٠٠،٠٠٠) انسان آخر، فبعد هذا الزلزال الرهيب اخذ العلماء يجهدون في سبيل ايضاح اسباب الزلازل وانشاء الخرائط التي تظهر مناطق انتشار الهزات الارضية في كل دولة من دول العالم ومن ثم تطوير طرائق البناء التي لا تتأثر بالهزات الارضية.

٢-٤-٢- منشأ الزلازل :

هناك عدة انواع من الزلازل بحسب القوى التي تسببها:

آ- الزلازل ذات المنشأ الداخلي :

وهي ذات منشأترتبط بالقوى الداخلية وبالتغيرات التي تحدث في باطن الارض وعلى اعماق مختلفة من سطحها وهنا يمكن تمييز نوعين رئيسيين :

١- الزلازل البركانية : Volcanic Earthquakes

وتنشأ هذه الزلازل عند حدوث الانفجارات البركانية حيث تسبب حركة المهل وانفجار الغازات المنحبسة في قناة البركان موجات انفجارية تحدث بدورها هزات ارضية.

وتكون شدة هذه الهزات كبيرة في اغلب الاحيان كما انهـــا ذات انتشار موضعي فقط في منطقة النشاط البركاني . ففـي شبه جزيرة كمتشاتكافي شمال شرق اسيا كثيرا ما يسبـــق انفجار البراكين او يصحبها هزات عنيفة مدمرة وحيث شـار بركان كراكاتاو Krakatau الواقع في خليج " سونـــدا " Sunda بين جزيرتي سومطرة وجاوة عـــام ١٨٨٣ ادى الانفجار الى احداث هزات عنيفة اثارت مياه البحـــر بشكل امواج ضخمة عارمة اغرقت المناطق القريبة ودمـــرت المنازل وشردت الكثير من السكان .

٢- الزلازل التكتونيـــة : Toctonic Earthquakes

وهي اكثر انواع الهزات الارضية انتشارا فحوالي ٩٥ ٪ مـن الزلازل تسبب اضرارا فادحة وكوارث مفجعة ,وتنتشـــر زلازل هذا النوع في مناطق التشوهات التكتونية (مناطق انتشار الطيات والفوالق) . وتمتاز زلازل هذا النمط بعمق بـؤرة الزلزال وبشدته وكذلك بكمية الطاقة الناتجة منها وتبعـا لذلك تم تقسيمها الى اربعة انواع هي : زلازل سطحيـــــة ، زلازل قليلة العمق ،زلازل متوسطة العمق وزلازل عميقـــة . وتعتبر الزلازل التكتونية المتوسطة العمق والتي تنشـــأ على اعماق تتراوح بين ٦٠ و ٣٠٠ كم اكثر انواع هـــذه الزلازل خطورة حيث تنتشر بكثرة على جانبي المحيط الهادي وفي الجزء الجنوبي من المحيط الاطلسي كما تنتشر بوءرها في ايران واليونان وايطاليا ورمانيا .

ب- الزلازل ذات المنشأ الخارجي :

ويحدث هذا النوع من الزلازل في مناطق انتشار التجوية وتشكل الكهوفالكارستية ،ففي مناطق انتشار الصخور الملحية والجبسية والكربوناتية تحدثعملية انحلال هذه الصخور بسهولة ويتشكل نتيجة لذلك كهوف ذات حجوم واسعة تصبح غير قادرة على تحمل الصخور التي تتوضع فوقها مما يؤدي الى تحطمها ويحدث نتيجة لذلك هزة ارضية تكون غالبا ضعيفة ومحددة الانتشار، وتشكل الزلازل الخارجية ٣٪ من مجموع الزلازل الارضية .

جـ الزلازل الاصطناعية :

ويسبب الانسان هذا النوع من الزلازل كتفجير القنابل النووية مثلا او القيام بأعمال الحفر او تسيير القطارات وغالبا ما تكون هذه الهزات ضعيفة ومحدودة الانتشار. الا ان شدتها تختلف حسب السبب الذي ادى الى حدوثها .

وبشكل عام فان معظم الهزات الارضية الرئيسية تحدث نتيجة لضغوط عنيفة فجائية في قشرة الارض ينجم عنها تصدع وانكسار وانتقال للطبقات على طول خطوط الانكسار. فعلى سبيل المثال حدث في ١٨ نيسان عام ١٩٠٦ حركة فجائية على طول مسافة قدرت بنحو ٤٣٠ كم في مجال نطاق انكسار سان اندرياس في كاليفورنيا ، الذي يمتد من الجنوب نحو الشمال الغربي مسافة تقدر بـ ٩٦٠ كم وسببت زلزالا عنيفا احدث خسائر فادحة ،وكان بمثابة ظاهرة نادرة لان الاغلب الاعم هو ان يتناول تأثير الزلازل مسافات تتراوح بين ٤٠ و ٨٠ كم.

ولم ينجم من هذه الحركة حدوث حالات انكسارية وذلك لان الحركة كا
افقية حيث ظهر ذلك واضحا من خلال تزحزح الطرق واسوار المـــــزا
والحدائق عن مواضعها الاصلية الى مواقع اخرى تبعد عنها وكان اكبر
بعد بلغته هو ٥ر٦ متر .

٢-٤-٢ انواع الموجات الاهتزازية واهميتها:

تنشأ في صخور القشرة الارضية التي تحدث فيها هزة ارضيـــ
حركة اهتزازية تنتشر بشكل امواج سيسمية تملك سرعة كبيرة ممـــــــ
يؤدي الى النظر الى صخور القشرة الارضية كوسط مرن مثالي ، امـــ
الامواج نفسها فينظر اليها كامواج مرنة وتقسم هذه الامواج الاهتزازية
الى ثلاثة انواع رئيسية هي :

١- الموجات الاهتزازية الاولية (الطولية) V_p :
تنتشر هذه الامواج بسرعة كبيرة وهي تنقل اكبر كمية مــــن
الطاقة وتسبب بالتالي اكثر الخسائر وهي عبارة عن امـــواج
حجمية اي انها تؤدي الى تغير حجم الوسط في الاتجـــــاه
الذي تسير فيه . وينتشر هذا النوع من الامواج في كافـــة
الاوساط الصلبة والسائلة والغازية . وتبلغ سرعتها مـــدة
كيلومترات (٥ره - ٨ر١٢ كم/ثا) . وهي تتعلق بتركيـــب
الصخور التي تخترقها اذ انها تكون كبيرة في الصخـــور
القاسية المتماسكة وصغيرة في الصخور الرخوة المفككة .

٢- الموجات الثانوية (العرضية) V_s
وتسبب هذه الامواج تغير شكل وحدات الوسط دون ان تـــؤدي

الى تغير حجمه ، وتتم اهتزازات جزيئات الوسط الـــــذي تنتشر فيه هذه الامواج في الاتجاه العمودي لانتشارها وهـي فقط في الاوساط الصلبة ، وتتميز الموجات العرضية بسرعتهـــا التي تقل بمقدار ١/٧ -١/٨ مرة عن الامواج الطولية وتتعلــق هذه السرعة بنوعية الصخور التي تخترقها اذ تكون كبيــرة ايضا في الصخور القاسية المتماسكة وصغيرة في الصخــــور الرخوة .

٣- الموجات السطحية (الطويلة) V_L

وهي اكثر الموجات طولا واقلها سرعة وتنتشر من الايبوسنتر (مسقط مركز الهزة على سطح الارض) اي تنشأ عند الحـــــد الفاصل بين الغلافين الصخري والجوي . وتشبه هذه الامــواج بانتشارها الامواج البحريــة .

وتختلف سرعة الموجات الاهتزازية فيما بينها ،مما يــؤدي الى الاختلاف في اوقات وصولها الى سطح الارض ،وتعتبر الامواج الطولية اكبرها سرعة فهي تصل الى المحطة اللاقطة في البداية تليهـــــــا الموجات الثانوية واخيرا الموجات السطحية . وتتغير سرعة الامـــــواج الاهتزازية كلما اقتربت من سطح الارض جدول (٢-٢) .

العمق بالكيلومتر	سرعة الامواج الطولية كم /ثانيــة	سرعة الامـــــواج العرضية كم/ثا
٠–٦٠	٥ر٣–٩ر٥	٤ر٢–٥ر٣
٦٠–١٢٠٠	٨–٥ر١٢	٣ر٤–٧٥ر٦
١٢٠٠–٢٤٥٠	٥ر١٢–٤ر١٣	٧٥ر٦–٥ر٧
٢٤٥٠–٢٩٠٠	٤ر١٣–٦ر١٣	٥ر٧–٣ر٧
٢٩٠٠–٤٠٠٠	٦ر٨–٥ر٩	–
٤٠٠٠–٦٣٨٠	٥ر٩–١١	–

الجدول رقم (٢–٢)

يبين لنا هذا الجدول ان سرعة الامواج الاهتزازية تـــــزداد طردا مع العمق بشكلعام الا اننا نلاحظ انه عند حدود النواة تقـــــل سرعة الامواج الاهتزازية الطولية بشكل مفاجيء ثم لا تلبث ان تبــدأ بالتزايد عند حدود النواة الداخلية لتبلغ في المراكز حوالـــــي ١١ كم / ثا، اما الامواج الاهتزازة العرضية فنلاحظ اختفاءها عنـــــد العمق ٢٩٠٠ كم ٠

كذلك فان الامواج الاهتزازية تنعكسوتنكسر عند اجتيازهـــا الحدود الفاصلة بين وسطين مختلفين كما هو الحال في الامــــــواج الضوئية (حيث انها لا تغير سرعتها ولا اتجاهها طالما هي تسير فـــي وسط متجانس) واعتمادا على ذلك امكن دراسة الاجزاء الباطنيـــــة

للكرة الارضية وتقسيمها الى عدة احزمة او طبقات . وتتعلق سرعة انتشار الامواج الاهتزازية كما رأينا سابقا بالخواص الميكانيكية للوسط (المرونة الوسط) وكذلك بكثافة هذا الوسط. فكلماكانت الخواص الميكانيكية والكثافة للصخور كبيرة كلما كانت سرعة انتشار الامواج الطولية فيها اكثر. واستنادا الى الدراسات الاحصائية وجد بأن سرعة انتشار الامواج الطولية في الصخور الرسوبية تتغير من ٢ الى ٥ كم /ثا . اما في الصخور الاندفاعية الحامضية فتتغير من ٥ الى ٦ كم /ثا وتتجاوز ٨ كم/ثا في الصخور الاندفاعية الفوق اساسية .

وتؤدي الامواج الاهتزازية الى تحريك الاجسام فوق سطح الارض بحركات عمودية وافقية ودورانية . فالحركات العمودية تظهر بشكل خاص فوق بؤرة الزلزال وتؤدي الى رفع الاجسام نحو الاعلى فتبدو وكأنها تقفز ولهذا النوع من الحركات قدرة كبيرة جدا على التدمير. اما الحركات الافقية فتؤدي الى انحراف الاجسام عن وضعها الشاقولي فتصبح مائلة، واخيرا فان الحركات الدورانية تؤدي الى دوران الاجسام حول نفسها . فمثلا زلزال الماطا في جمهورية كازاخستان ادى عام ١٨٨٧ الى فتل احد الاعمدة الحجرية بمقدار ٧ درجات تقريبا .

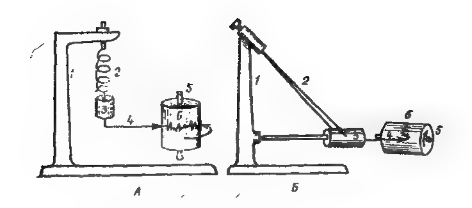
٦-٤-٤ دراسة الزلازل واجهزة الكشف عنها :

يسمى العلم الذي يعنى بدراسة الزلازل من حيث ماهيتها ، اسباب حدوثها ، وامكانية التنبوء بها بعلم السيسمولوجيا ، ولقد كان

الصينيون هم اول من درسوا الزلازل وذلك في بداية القرن الثاني الميلادي حيث تمكنوا من تصميم جهاز خولهم فقط معرفة الجهة التي تحدث فيها الهزة الارضية. اما اول مؤتمر علمي لدراسة الزلازل فقد عقد عام ١٩٠١ في مدينة ستراسبورغ ، وقد وزعت هذه المحطات بحيث تكون بعيدة عن المنشآت الصناعية والسكك الحديدية وكذلك طرق السيارات (اي بعيدة عن كل الاماكن التي تشكل عائقا في وجه تسجيل الهزات الارضية) . ويدخل النواس في تركيب اجهزة تسجيل الهزات الارضية بشكل رئيسي وتعتمد هذه الاجهزة على مبدأ العطالة الذي ينص على ان الاجسام الساكنة تبقى ثابتة ومستقرة اذا لم تؤثر بها قوى خارجية. وعند ورود امواج زلزالية يبدأ جهاز قياس الهزات الارضية (السيسموغراف) مع التربة بالاهتزاز حيث يتم تسجيل الاهتزازات بواسطة ابرة مثبتة على ورقة عادية او ورقة تصوير مثبتة على طبلة تدور ببطء شكل (٢-٢٨).

فاذا لم يكن هناك اية هزة ارضية فالجهاز يسجل خطا مستقيما ، اما عندما يبتدئ الزلزال يسجل الجهاز خطا بيانيا شديد التعرج يطلق عليه اسم السيسموغرام (السجل الزلزالي) وهو يتألف من ثلاثة اجزاء رئيسية شكل (٢-٢٩).

حيث يدل الجزء الاول على الموجات الاولية (آ) ويتميز بسعة موجاته الصغيرة مما يدل على انها اسرع الموجات بالورود الى المحطة اللاقطة. وبعد بضعة ثواني تزداد سعة الموجات نسبيا مما يدل على ورود امواج عرضية اقل سرعة وهي تمثل الجزء الثاني على المنحني وبعد ذلك يقل الاهتزاز تدريجيا وتصبح سعة الموجات كبيرة جدا مما

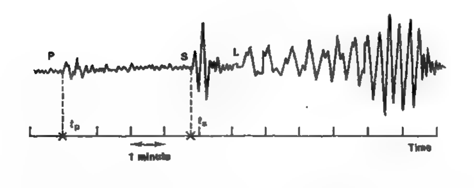


الشكل (٢-٢٨) اجهزة تسجيـــل الهـــزات

A – وحدة تسجيل الاهتزازات العمودية .

Б – وحدة تسجيل الاهتزازات الافقية .

١– عمود ٢– سلك او رقاص ٣– الكتلة الثقيلة ٤– شعاع ضوئي ، ٥– طبلة التسجيل .



الشكل (٢-٢٩) المجـــل الزلزالـــي

آ– بداية الموجات الاولية .

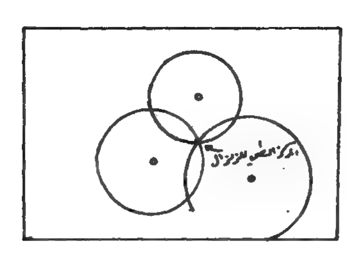
ب – بداية الموجات الثانوية .

جـ بداية الموجات الطويلة .

يدل على الموجات السطحية ويمثلها الجزء الثالث من المنحني .

وعلى مختلف المحطات الزلزالية يتم ورود الامواج الاهتزازية خلال اوقات مختلفة لهذا فان السجل الزلزالي لنفس الهزة المسجل على مختلف المحطات ويختلف بسعة الموجة وكذلك بفترة الهزة وحتى يتم تسجيل كل الهزات الارضية التي تحدث في مختلف مناطق الكرة الارضية ، يجب ان تحتوي محطة رصد الزلازل على ثلاث وحدات سيسموغرافية ، اثنتان منهما افقيتان موجهتان شمال- جنوب وشرق - غرب لتسجيل كافة الحركات والهزات الافقية وثالثة شاقولية لتسجيل الاهتزازات العمودية .

ولتحديد مركز الزلزال السطحي يجب ان يرصد هذا الزلزال بدقة من ثلاثة مراصد مختلفة فالمرصد الواحد يستطيع فقط ان يعين بعد مركز الزلزال من المرصد ويتحدد بمحيط دائرة مركزها المرصد ونصف قطرها المسافة ما بين مركز الزلزال والمرصد ولا يعين المرصد الاتجاه الصحيح للزلزال ، وتجمع النتائج من ثلاثة مراصد مختلفة في اماكن مناسبة ،تتقاطع الدوائر الثلاث التي تحددها المراصد في نقطة واحدة تكون هي مركز الزلزال السطحي . شكل (٢-٤٠).



الشكل رقم (٦-٤٠) يوضح ايجاد المركز السطحي للزلزال

٦-٥ شدة الزلازل :

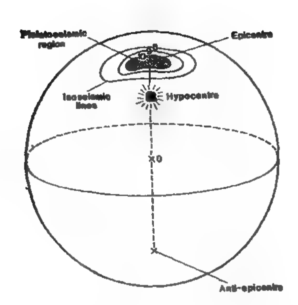
تقدر شدة الزلازل بكمية الطاقة التي تجلبها الموجات الاهتزازية من الاعماق ، وهذه الطاقة تحسب بطرائق محددة وتقدر بالارغ او الجول حيث ان كل (١أرغ = ادينة/سم) وكل (١ جول = ١٠ ارغ) فالزلازل التي تسبب الدمار تكون طاقتها حوالي ($١٠^{١٢}$ـ$١٠^{١٣}$ جول) وهذه الطاقة تزيد بملايين المرات من الطاقة الناتجة من القنبلة الذرية. وفالباحثون عند تقدير طاقة الزلازل لا تستخدم القيمة المطلقة وانما لوغاريتم هذه القيمة اي :

$$K = \lg E$$

حيث

K ـ عامل يصف طاقة الزلزال .

فمثلا للزلازل الضعيفة جدا تبلغ قيمة (K=0) اما لأشد الزلازل فتبلغ قيمة (K=18) وتنخفض شدة الهزات الارضية بالابتعاد



شكل (٢-٤١) خطوط تساوي الزلزال

من المركز . شكل (٢-٤١).

تسمي الخطوط التي تصل بين نقاط سطح التي شدة الزلزال فيها واحدة خطوط تساوي شدة الهزة وهذه الخطوط تتخذ عادة شكل منحنيات غير منتظمة ومغلقة تحصر فيما بينها مناطق تتساوي فيها شدة الهزة الارضية. فمثلا نلاحظ من الشكل السابق ان النطاق (١٠) المحيط بالمركز السطحي اكثر المناطق تأثرا بقوة الهزة الارضية لهذا يسمى بنطاق التدمير الاعظمي بينما يعتبر النطاق(٨) اقل تأثرا بالهزة الارضية ،لذلك فان معرفة خطوط تساوي شدة الهزة (الايزوسيسي) ذات اهمية بالغة كونها تساعدنا على تقسيم سطح القشرة الارضية الى مناطق زلزالية تختلف فيها شدة الهزة الارضية ،وهذا بالتالي يساعدنا على تقدير الاحتياطات الوقائية اللازمة.

تقاس شدة الزلازل ايضا بالسعة النسبية للهزات الارضية

وهي عبارة عن نسبة السعة العظمى للاهتزازات (A) التي تحدثها الهزة الارضية عند مركز الزلزال السطحي في جزيئات التربة الى السعة المعيارية (A_0) لاهتزازات جزيئات التربة التي تنتج من اضعف هزة ارضية ممكنة ويستعمل عادة لوغاريتم هذه النسبة اي ان :

$$M = \lg \frac{A}{A_0}$$

واعتمادا على هذا المفهوم اوجد عالم الزلازل الامريكي الشهير ريختر جدولا لتقدير شدة الزلازل سمي باسمه (سلم ريختر) وهو يتألف من (٩) درجات حسب قيمة M فعندما تكون M=0 لا نشعر بالهزة اطلاقا،فقط تستطيع الاجهزة الشديدة الحساسية التقاطها وعندما تكون M=7 فان الزلزال يعتبر مدمرا اما عندما تصبح (m=8,5) فالزلزال يصبح كارثيا.

وقد اوجد العلماء عدة جداول لمقارنة وتقدير شدة الهزات الارضية،حيث قسموا كل جدول الى عدة درجات تتراوح بين ١٠ و ١٢ درجة وقد ذيلت كل درجة من هذه الدرجات بوصف مفصل للظواهر المرافقة للزلازل وكل درجة هذه الدرجات تعادل قيمة معينة للتسارع الزلزالي الذي يعرف بأنه التسارع الذي تكتسبه جزيئات التربة اثناء اجتياز الامواج الزلزالية لها ويتعين بالعلاقة التالية :

$$a = \frac{4\ \ {}^{2}A}{T^{2}}$$

حيث :

a ـ التسارع الزلزالي .

A – سعة الاهتزاز .

T – دور الاهتزاز .

ويقدر التسارع الزلزالي بـ سم/ثا^{٢}.

ويعد في الوقت الحاضر جدول MSK (ميدفيديف ـ سبونهوير كارنيجك) من اوسع الجداول انتشارا جدول(٢-٢) وهو يتألف من ١٢ درجة .

الجـــدول (٢-٣)

الدرجة او قوة الهزة الارضيـــة	التســارع الزلزالـي مم/ثا^{٢}	مميزات الهزة الارضيـــة	الوصف العام للهـــزة الارضيـــة
١	اقل من ٠ر٢	لا نشعر بها	الهزات يلتقطها الجهاز فقط
٢	٠ر٢–٥	ضعيفة جدا	يشعر بالهزة عدد محدد من الناس المتواجدون في حالة الراحة التامة.
٣	٥–١٠	ضعيفة	يشعر بها عدد قليل من الناس
٤	١٠–٢٥	متوسطة	يشعر بها معظم الناس وتؤدي الى اهتزاز بسيط للاشياء المعلقة.

تابع الجـــــدول رقـــــــم (٢-٣)

٥	٢٥-٥٠	فوق الوسط	تؤدي الى اهتزاز شديد للاشياء المعلقة وتنغلق الابواب والنوافذ بشدة .
٦	٥٠-١٠٠	شديدة	تتساقط الاشياء داخل المنازل وتظهر بعض التشققات في الابنية الصغيرة .
٧	١٠٠-٢٥٠	شديدة جدا	تحدث تغيرات في المباني وتنهار المداخن وتتشقق الكثير من الابنية .
٨	٢٥٠-٥٠٠	مخربـــــة	يتصدع عدد كبير من المباني وتنهار المرافـــق والابـــــراج .
٩	٥٠٠-١٠٠٠	مدمــــرة	تتهدم بعض الابنية كليا وتظهر التشققات العديدة

تابع الجدول رقـــم (٢-٣)

			العديدة في الطرق ،وتسبب ضحايا بشرية قليلة
١٠	١٠٠٠-٢٠٠٠	مدمرة جدا	تنهار معظم المنشآت مع اساساتها تحدث انهيارات في الجبال وتسبب ضحايا بشرية كبيرة.
١١	٢٥٠٠-٥٠٠٠	كارثيـــة	تحدث انهدامات وانهيارات كثيرة وتسبب تدميـــرا كاملا للابنية.
١٢	اكثرمن٥٠٠٠	كارثية جدا	تسبب تدميرا نهائيا للابنية وتحدث تغيرات علـــى مساحات كبيرة من سطح الارض.

جدول MKS لوصف الهزات الارضيـــــة

واخيرا نشير الى ان عدد الزلازل يتناسب عكسا مع شدتهـــــا . فكلما زادت شدة الزلازل كلما قل احتمال تكرارها . وبالتالي فـــان الجزء الاعظم من طاقة الزلازل تجلبه الهزات الارضية الشديـــدة رغـــم ندرة حدوثها في حين ان الهزات الارضية الضعيفة لا تجلب الا جـــزءا قليلا جدا من الطاقة رغم كثرة عددها.

٢-٤-٦- التوزع الجغرافي للزلازل :

على الرغم من ان الزلازل تنتشر في جميع بقاع الكرة الارضيـــة الا ان ما يحدث منها على اليابسة يتركز في مناطق معينة تسمـــى بالنطاقات الزلزالية حيث يتركز فيها حوالي ٩٠ ٪ من الزلازل وهي :

١- نطاق المحيط الهادي الزلزالي الذي يمتد على طول الضفـــاف الشرقية لقارة آسيا مارا بشمال شرق استراليا وعلى امتـــداد السواحل الغربية لامريكا الشمالية والجنوبية وتقع بـــؤرة الزلزالية على اعماق كبيرة من سطح الارض وهو يشمل على حوالي ٦٨ ٪ من مجموع زلازل العالم.

٢- نطاق البحر الابيض المتوسط وهو يمتد عرضيا اعتبارا من جـــزر الرأس الاخضر والبرتغال مارا بتركيا ويمتد شرقا ليشمـــل مرتفعات الهيمالايا الى جزر اندونيسيا وهناك يلتقي بالنطاق الاول ويضم هذا النطاق حوالي ٢١ ٪ من مجموع الزلازل .

٣- النطاق الثالث ويشمل منطقة الاخاديد بشرق افريقيا وجنـــوب غرب آسيا ويرتبط حدوث الزلازل بهذا النطاق بوجود الانكســار

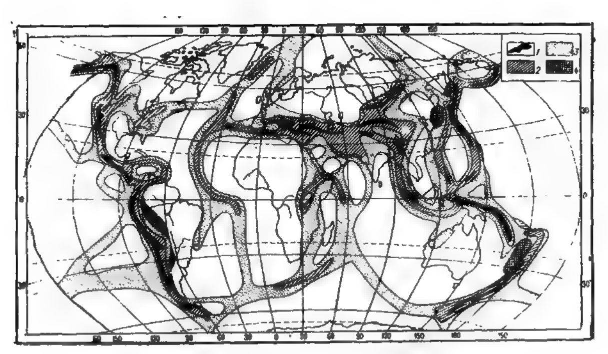
الافريقي العظيم الذي تعرضت له القشرة الارضية في اواخر الزمن الجيولوجي الثاني واستمر تطوره خلال الزمن الجيولوجي الثالث ،وهو يمتد شمالا عبر البحر الاحمر ثم البحر الميت ويستمر باتجاه الشمال عبر سوريا ولبنان حتى يلتقي بجبال طوروس •

اضافة الى هذه النطاقات القارية الثلاثة هناك نطاق رابع يمتد في اواسط المحيط الاطلسي متجها من الشمال الى الجنوب •

اذن يتبين لنا من خلال ملاحظة جيولوجية عامة بأن الزلازل تنتشر في المناطق التي يكون فيها تفاوت الارتفاعات على سطح الارض اعظميا ،اي في المناطق التي تشغلها السلاسل الجبلية العظمى (مناطق التشوهات التكتونية) ويلاحظ بأن البراكين والزلازل ترتبط ارتباطا وثيقا بالنشاط التكتوني •

واخيراً فأن دراسة توزع الزلازل يسمح لنا باستيعاب مفهوم تكتونيك الصفائح كما يتضح من الشكل (٢-٤٢)•

وبالتالي فان النطاقات الاهتزازية تحدد احزمة ضيقة تحيط بنطاقات غير اهتزازية هي الصفائح • مما يؤكد بأنّ حدوث الزلازل الحالية ما هو الانتيجة لحركات الصفائح الليثوسفيرية المختلفة•



الشكل(٣-٤٢) توزع الاحزمة الزلزالية
١- زلازل كبيرة الشدة (كارثية).
٢- زلازل متوسطة الشدة.
٣- زلازل ضعيفة الشدة.
٤- زلازل عميقة (على عمق اكثر من ١٠٠ كم) .

٣-٤-٧- التنبوء بالزلازل وطرائق الوقاية منها:

تتضمن عملية التنبوء بالزلازال تحديد مكانها وتقدير شدتها وتحديد موعد حدوثها. وتستحوذ هذه المسألة على اهتمام مختلف دول العالم ،فالدراسات العلمية موجهة على تحديد التغيرات التي تصيب الصخور، وكذلك تغيرات الحقل الكهربائي لجزيئات التربة قبل حدوث الهزة الارضية وغيرها من الظواهر الاخرى التي تسبق حدوث الهزة بزمن قليل . وتظهر بعض الظواهر هذه قبل حدوث الهزة بعدة

سنوات او بضعة اشهر وبعضها الاخر يظهر قبل مدة ايام ، او حتى عدة ساعات . ومن اهم التغيرات التي تسبق حدوث الهزة بزمن قليل تغيرات منسوب وتركيب المياه الجوفية ،حيث لوحظ بأن تركيز بعض العناصر كالرادون يتغير بشكل ملحوظ قبل بدء الهزة الارضية ،كذلك تسبق الهزة الارضية في بعض الاحيان اضطرابات مغناطيسية واضطرابات بالحقل الكهربائي .

وفي الوقت الحاضر تهيأ في المناطق الزلزالية الخطرة نقاط مراقبة مهمتها التقاط الامواج الصوتية الواردة من باطن الارض والتي تسبق في تكثير من الاحيان حدوث الهزة الارضية ويتم ذلك بوضع اجهزة خاصة على اعماق مختلفة من سطح الارض حيث تحفر آبسار خصيصا لذلك وتقوم هذه الاجهزة بالتسجيل اوتوماتيكيا وتكون هذه الاجهزة مخصصة اما لدراسة نظام وتركيب المياه الجوفية او لقياس تغيرات شدة الحقل الكهربائي والمغناطيسي في التربة وفي الغلاف الجوي وتؤخذ معطيات هذه الاجهزة مرة او مرتين في الساعة .

واذا تمكنا من التنبوء بالهزة الارضية فاننا على الاقل نستطيع منع وقوع ضحايا بشرية وقد دلت الابحاث على انه يمكن تجنب الكثير من اضرار الهزات الارضية وذلك بعد اجراء دراسة كاملة لخواص صخور القشرة الارضية وكذلك تقدير شدة الزلزال الذي يتوقع حدوثه .

ومن اهم التدابير الوقائية الواجب اتباعها بناء خرائط زلزالية للمناطق المعرضة لحدوث الهزات الارضية ،وتصميم الابنية

والمنشآت العمرانية وتنفيذها بشكل يوهلها لمقاومة مختلف الهزات الارضية حيث يراعى في انشائها بعض الامور كتعريض الاساس وتعميقـــه وان يكون البناء على صخور متماسكة وغير مشققة وليست على صخـــور رخوة وكذلك الابتعاد عن الابنية الشاهقية.

واخيرا لا بد من الاشارة الى انه على الرغم من الجهـــود الجبارة المبذولة لتطوير علم الزلازل وامتلاك عدد من الدول لشبكات الرصد الالكترونية ، فان هذه الدول لم تستطع حتى الان تفـــادي اخطار الهزات الارضية. وان عالم الانسان اليوم ينتظر بفارغ الصبـــر اللحظة التي يصل فيها هذا العلم الحديث الى اختراع اجهزة تستطيع ان تجنب البشرية الكوارث الهائلة التي تصيب العالم سنويا ويذهب ضحيتها عدد كبير من قاطني كوكبنا الارضي .

٣- الإنسان والبيئة

٣-١- الفعل الجيولوجي والتقني للإنسان والحفاظ على الوسط المحيط

ضمن العوامل الجيولوجية المشاركة في تشكل القشـــرة الارضيـة ـ هذا الجزء الذي لا ينفصل عن حياة الانسان ـ يلعب الانســـان دورا مهما وكبيرا . فعدد سكان الكرة الارضية المتزايد والتقدم العلمـــي والتقني المتنامي بوتائر سريعة يقوي فعل الانسان في الطبيعــــة . فهو يستخرج سنويا مليارات الامتار المكعبة من الصخور والخامـــات والغاز الطبيعي والمياه الجوفية ،وكذلك مئات الملايين من الاطنـــان من الوقود السائل ،مما يؤدي في النتيجة الى تشكل فراغات فـــي القشرة الارضية تضعف متانة الصخور كما تتشكل التجاويف والاغـــوار على سطح الارض .

واذا كان مجال نشاط الانسان في فجر المجتمعات البشرية قــــد انحصر على سطح اليابسة ،فحاليا يشمل هذا المجال اعماق القشــــرة الارضية والمحيطات والطبقات العليا من الاتموسفير . وبفضل تطـــور التقانة الفضائية تعدى مجال نشاط الانسان الارض الى الفضــــاء الخارجي .

١- تأثير الانسان على الوسط المحيط :

ان تأثير الانسان على الوسط المحيط به يقع في علاقة مباشرة مع قيامه باستغلال الثروات الغنية للارض لتلبية متطلباته الحضارية. فقوانين حفظ المادة والطاقة تفترض استحالة خلق المادة او فنائها. فالمواد المصنعة والطاقة المستخرجة من المواد الخام او المواد الاولية تعود في نهاية المطاف الى الوسط المحيط بالكمية نفسها في هيئة نفايات غازية او سائلة او صلبة. وعندما تطغى كمية هذه النفايات او درجة نشاطها على العوامل الطبيعية والكيميائية والحيوية المحلية وتصبح البيئة غير قادرة على اضعاف تأثيرها بسرعة تصبح هذه النفايات ضارة كثيرا بالبيئة.

فحتى بداية القرن الثامن عشر استخدم الانسان في تطبيقاته العملية ١٩ عنصرا كيميائيا فقط، وفي النصف الاول من القرن العشرين استخدم ٥٩ عنصرا. اما في الوقت الحاضر فيستخدم حوالي ١٠٠ عنصر كيميائي .

ان تزايد الحاجة الى الخامات المعدنية يتم بوتائر اسرع بكثير من زيادة عدد سكان الارض فحسب دراسات الاختصاصي الروسي نوفيكوف ازدادت الحاجة الى المواد الخام المعدنية خلال الفترة الزمنية من عام ١٩٤٠ وحتى عام ١٩٧٠ من ٣ الى ٧٠ مرة ،وبالمقابل فان الزيادة في عدد سكان الارض خلال نفس الفترة تمت بأقل من مرتين. كذلك فان اكتشاف مكامن جديدة أدى الى زيادة في عدد الاقاليم الصناعية وبالتالي بناء قرى ومدن جديدة وتوسيع المراكز القديمة.

وان استثمار هذه المكامن ادى الى تغيرات كبيرة في الريليف المحيط بها بسبب تمديدات المياه والتوسع في شبكات الطرق الحديدية والبرية فيها .

ويظهر الانسان تأثيرا كبيرا على مجرى العمليات الجيولوجية الخارجية فهو يسرع او يبطء عليها التخريبي . فالعمليات التقنية توءثر بشكل مباشر او غير مباشر على عمليات التجوية من خلال تأثيرها على وسائط التجوية (درجة الحرارة ، الرطوبة ، تركيب الهواء ، المياه المتعضيات) وعلى اوساط التجوية الرئيسية الجيولوجية والهيدروجيولوجية . ويظهر تأثيرها المباشر من خلال تشكل قشرة التجوية بفعل تحطيم الصخور وتغيير تركيبها نتيجة الاعمال المنجمية السطحية والعميقة . فعمليات التجوية تتطور بشدة في المنطقة المحيطة بالمناجم والخنادق وغيرها من الحفر المنجمية . اما التأثير غير المباشر للعمليات التقنية على التجوية . فيتم بشكل اساسي على وسائط التجوية والوسط الذي تتم فيه عمليات التجوية . فهذه الاعمال يمكن ان تقوي او تبطء فعل التجوية . فالنفايات الكيمياوية التي تطرح في الغلاف الخارجي تسرع عمليات التجوية الكيمياوية وتنشط عمليات تخريب الصخور والابنية وتسبب تآكل المعادن . اما عمليات زرع الاعشاب وغرس الاشجار وبناء حواجز فهي تضعف بسرعة الرياح و . بالتالي تقلل من اعمال التخريب الريحية .

ان بعض انماط النشاط التقني توءثر مباشرة على المياه الجوفية كضخ المياه لاغراض الشرب والري وتجفيف المناجم والانفاق والمقالع والتغذية الاصطناعية للمياه الجوفية . فاستثمار المياه

الجوفية بشكل كبير يؤدي الى انخفاض الطاقة الضغطية مما يسبب تدنيا كبيرا في انتاج الينابيع والآبار الارتوازية . كذلك فان ... المياه في الآفاق الحاملة للمياه يؤثر ايضا على ... التخريبي للمياه الجوفية وتصبح عمليات الانزلاق الارضية اقل حدوثا . كما يؤدي تخريب الظروف الهيدروجيولوجية الطبيعية الى تغيرات في الهيدروسفير (الغلاف المائي للارض) . فمثلا يسبب ضخ المياه الجوفية من آبار واقعة قرب نهر له علاقة هيدروليكية جيدة مع المستويات الحاملة للمياه المستثمرة نقصان في الجريان السطحي . كذلك بان انخفاض منسوب المياه الحرة يؤدي الى زيادة سماكة منطقة التهوية مما يسبب هلاك بعض النباتات الطبيعية او كلها وجفاف المستنقعات و الجريانات .

ويتعاظم دور الانسان في الفعل الجيولوجي للبحار ، فبسبب انخفاض الجريان النهري انخفض منسوب المياه في بحار عديدة مثل قزوين والاورال وهذا ادى بدوره الى زيادة ملوحة هذه البحار حيث نتج عن ذلك تغير في العالم العضوي الموجود فيها . وبشكل عام فان الفعل التقني للانسان يؤثر . اما ايجابيا او سلبيا في الوسط المحيط فقد ادى استعمال الـ د.د.ت في الاقتصاد الزراعي عالميا الى اضرار كثيرة ، اذ سبب هذا الاستخدام قتل ليس الحشرات الضارة فحسب ولكنه خفض عدد الطيور وبعض انواع الاحياء الاخرى .

كذلك فان اتساع الحضارة ادى الى تلوث الجو بشكل كبير بسبب زيادة النفايات الغازية الناتجة عن احتراق الوقود ، وبشكل خاص غاز اول اكسيد الكربون وثاني اوكسيد الكربون والغازات

الكبريتية واكاسيد النتروجين . فمحركات السيارات والاليات تحرق سنويا ٢ر٢ مليار طن من النفط .

وتشكل مياه مجارير المنشآت الصناعية مصادر تلوث كبيرة للبيئة . ففي تركيب هذه المياه تصادف غالبا سموم بيولوجية مثل الزئبق والرصاص والزنك وغيرها . وعندما تطرح هذه المواد في البحار والانهار تؤثر بشكل كبير على العالم العضوي الموجود فيها . وهناك النفط الذي اصبح في السنوات الاخيرة يسبب مشاكل بيئية بدأت تتزايد باضطراد ، فاكثر سواحل العالم ملوثة بالنفط ، الامر الذي يسبب ابادة اعداد لا تحصى من النباتات والحيوانات البحرية ، وبما ان النفط اخف وزنا من الماء وغير قابل للامتزاج والذوبان فيه ونتيجة تزايد عدد ناقلات النفط في بحار العالم وازدياد عمليات التنقيب النفطي في البحار ، فقد ادى هذا الى زيادة كميات النفط العائمة على سطوح البحار والمحيطات . وقد تبين ان الحياة في المحيطات تناقصت بمقدار ٤٠ ٪ خلال الخمسين سنة الاخيرة وانقرض اكثر من ١٠٠٠ نوع من الاحياء المحيطية واصبح من المستحيل اعادتها .

٢- فعل الانسان كعامل جيولوجي :

ان نشاط الانسان في الوسط الجيولوجي (الطبقة من الارض التي ينتهي عند حدودها السفلى نشاط الانسان) لا يقلل من دور بعض العوامل الجيولوجية فقط وانما يزيد دور بعض العوامل الاخرى ويتضمن الفعل الجيولوجي للانسان بشكل عام ما يلي :

أ- الفعل التحطيمي : ويتم عند تنفيذ الاعمال المنجمية والخنادق

وشق القنوات وغيرها . فتتشكل كهوف وفراغات ذات حجوم ضخمة تصل الى ملايين الامتار المكعبة على اعماق معينة داخل القشرة الارضية تؤدي الى تهدم طبقة الغطاء فوق هذه الكهوف مما ينجم عنه ظهور اغوار وانخفاضات على سطح الارض تصل اقطارها الى ٦٠ متر واكثر. وهناك بعض اشكال تحطيم الصخور ينتج عند استثمار الثروات المفيدة السائلة والغازية والصلبة (الغاز الطبيعي والبترول والمياه الجوفية) اذ يحدث نتيجة استثمارها انخفاض متانة الطبقات المنجمية وانخفاض الصخور المتوضعة فوقها. ويحدث هذا الانخفاض تدريجيا ويترافق هذا مع هزات ارضية ليست بكبيرة شدتها تبلغ ٤-٥ درجات وعلى السطح تسبب تخريب الابنية والمنشآت . فلقد ادى ضخ واستجرار المياه الارتوازية في بعض مناطق المكسيك الى انخفاض سطح الارض في تلك المناطق بمقدار ٨٫٥ متر . وكذلك تحدث الانخفاضات عند وجود حمولة اضافية طويلة الامد على سطح الارض ومثل هذه الحمولات تتعلق ببناء المدن والجسور والسدود حيث تتشكل تحت هذه المنشآت مناطق انضغاط وحركة.

ب- تعدين المواد الفلزية الخام : في عمليات تعدين واستخدام الخامات المعدنية يحدث اغناء الطبقة السطحية للقشرة الارضية بهذه المعادن او تلك ،فلقد بينت حسابات العلماء انه خلال الخمسين سنة الاخيرة تغير محتوى بعض المعادن في التوضعات السطحية على النحو التالي : ارتفع محتوى الحديد مرتين والرصاص ١٠ مرات والزئبق ١٠٠ مرة اما الزرنيخ فزاد بمقدار ٢٥٠ مرة.

ويسبب النشاط التطبيقي للانسان في كثير من الاحيان تشتيـــت العناصر الكيمياوية ، ولكن بنفس الوقت تودي العمليات الط... الى تجميع هذه العناصر بهيئة مكامن اقتصادي.

على سطح الارض يتم بشكل اسرع بكثير من تشكل مكامن جديدة فتتشـــت اغلب المعادن مثل القصدير والرصاص والزئبق والتوتياء وغيرهـــا . ويتجمع بعضها مثل (الذهب والفضة والحديد ... الخ).

٣ـ الحفاظ على الوسط المحيط

على امتداد قرون كثيرة تشكل توازن جيوكيمياوي وبيوكيمياوي اصدر شروط او مقدمات لتطور العالم العضوي . ومع تطور المجتمعات البشرية وزيادة الفعالية التقنية للانسان اصبح هذا التوازن يتخرب تدريجيا . فنتيجة للتأثير المتبادل بين المتغيرات الناتجة عــن النشاط التقني يحصل تخريب التبادل الطبيعي والتوازن الحـــراري وظروف النقل الحراري ونقل الرطوبة والمواد الصلبة في الوســـط الجيولوجي وهذا التغير في الوسط الجيولوجي يودي الى تغيـــرات كبيرة في الوسط البيولوجي وغيره . من هنا نجد العلاقة الوطيـــدة بين المسائل الجيولوجية والمشاكل البيئية وذلك لان توزع امكانية استخدام الثروات الطبيعية للارض هي احدى اهم مسائل علم البيئـة . لهذا نجد ان البحوث البيئية هي جزء هام واساسي من الدراســـات الجيولوجيـــة .

لقد كان الفعل التقني للانسان في البداية قليلا بالمقارنـــة مع العمليات الطبيعية ولكنه تفوق عليها اخيرا ،وهذا ادى بـــدوره

الى تأثيرات ضارة جدا منها استنفاد جوف الارض وانقراض بعض انـــواع النباتات والحيوانات وغير ذلك . ومن اجل اعادة التوازن البيوكيميائي المخرب يجل حل مسألة الحفاظ على الوسط المحيط(البيئة) . والمدخل الى حل هذه المسألة تختلف وجهات النظر بشأنه . فبعض العلمـــاء يعتقد انه لاضعاف تأثير الانسان على الوسط المحيط من الضــــروري التقليل او الحد قدر المستطاع من زيادة عدد السكان ، بينمـــــا البعض الآخر يرى ضرورة الاستثمار الامثل والعقلاني للثروات الطبيعيـــة . فتعدين واستثمار مكامن الخامات المفيدة يجب ان يتم بأساليـــــب اكثر فعالية وواقعية وان يراعى اثناء ذلك ضياع اقل كمية مـــــن المواد الخام ، حيث تعطى اهمية كبيرة لتقليل ضياع المواد المفيدة اثناء استخراجها ومعالجتها . وان حل هذه المسائل يخول استخـــدام الثروات الطبيعية بشكل امثل .

كذلك تحدث عمليات التعدين في المناجم السطحية (مناجـــم الفحم والفوسفات والنحاس وغيرها) ، ومقالع الحجارة والحصى اضطرابا في مساحات شاسعة من الارض فهي تزيل او تهدم التربة وتهلك النباتات وتنتج كميات هائلة من النفايات الصلبة على شكل رسوبات وتربـــة مفتتة وصخور حيث ينتج تكاثفها مشاكل بيئية كبيرة نظرا لسهولـــة تعريتها . لذلك للحفاظ على البيئة يجب اعادة هذه النفايات الـــى المناجم والمقالع بعد استخراج معادنها وتسوية تضاريس المنطقـــة بحيث تعود الى ما كانت عليه حتى تتمكن النباتات من النمو عليها مرة اخرى والاراضي المستصلحة بهذا الشكل تستخدم لاغراض شتـــى : للزراعة او الري او تحول الى منتزهات او غير ذلك .

واذا كانت التربة هي هدية الطبيعة التي لا تقدر بثمن للانسان الاهمية الكبيرة في حياة الناس تملكها مياه البحار والمحيطات والمياه الجوفية . فالمحيط بشكل عام هو (مصنع اصطناعي) ومصدر الاساسي للاوكسجين الجوي وهو مجال الملاحة النشطة بقصد اصطياد الاسماك واجراء الابحاث العلمية ونقل البضائع . ورغم احتياطات الحذر فان بعض المراكب الموجودة في البحار والمحيطات تغرق اوتتلف وينجم من ذلك احيانا تلوث كبير كما ذكرنا سابقا . ففي عام ١٩٤٥ وعند شواطئ اليابان بسبب اعصار التيفون غرق ما يقارب ٨٧٦ مركبا واكثر البحار تلوثا هو البحر الابيض المتوسط حيث يطرح فيه سنويا حوالي مليار طن من النفايات وحوالي ٣٠٠ر٠٠٠ طن من المواد النفطية. لذلك اصبحت مسألة الحفاظ على مياه البحار والمحيطات المسألة الاهم . وقد وقعت عدة دول اتفاقات فيما بينها بغية الحفاظ على هذه الثروة الهامة مثل روسيا والولايات المتحدة الامريكية وكندا واليابان والسويد والدانمارك كذلك فان الاهمية الكبيرة توليها معظم الدول لحفظ واستثمار المياه الجوفية استثمارا امثلا،حيث تعتبر هذه المياه المصدر الوحيد للشرب للكثير من الدول . لذلك ونتيجة لقلة الموارد المائية المتاحة في هذه الدول وزيادة الطلب على المياه يوما بعد يوم بسبب التطور الانمائي السريع في مجالات الزراعة والصناعة والخدمات العامة فقد بادرت هذه الدول الى وضع التشريعات المائية الكفيلة بتنظيم مواردها المائية المحدودة. وبناء على ذلك يجري بشكل دائم مراقبة على نوعية هذه المياه ويتم اتخاذ تدابير احترازية للحفاظ عليها من التلوث والنضوب ومن اهم هذه التدابير الوقائية الابتعاد عن اي تأثير تقني يؤدي

الى تغير العلاقة بين المياه السطحية والمياه الجوفية ،مما يوءدي بدوره الى تغير في مناطق التغذية والصرف ،كما تتغير عناصر الموازنة المائية وبالنتيجة يتعقد النظام الفيزيوكيميائي للصخور والمياه وبارامتراتها بسبب التلوث •

واخيرا فان المحيط الغازي يملك اهمية كبيرة ،ففيه تحدث عمليات بيولوجية لتبادل المواد فالنباتات تأخذ غاز ثاني اكسيد الكربون وتطرح الاوكسجين في الغلاف الجوي• الا ان تلوث الغلاف الجوي بالنفايات الصناعية ضرب هذا التبادل فالابخرة الحامضية وغاز الفحم والغازات الكبريتية تهلك الغابات والناس كما انها تسبب في بعض الاحيان تلوث الهواء وبعض الحالات المرضية الشديدة التي تصيب الانسان •

وحسب دراسات الجهات الامريكية المختصة بالحفاظ على البيئة يسبب تلوث الغلاف الجوي للولايات المتحدة الامريكية خسائر اقتصادية سنوية تقدر ب ١٦ مليار دولار • وقد ازدادت نسبة غاز في الغلاف الجوي خلال الـ ١٠٠ سنة الاخيرة بسبب احتراق مختلف مواد الطاقة بنسب كبيرة جدا تعدت ١٠ ٪ • وكما هو معروف يشكل هذا الغاز وسطا شفافا للضوء المنظور يسمح لاشعة الشمس بالمرور عبره دون تأثير كبير ولكنه شديد الامتصاص للاشعة تحت الحمراء التي تعكسها الارض وبالتالي يشع جزء من هذه الطاقة الممتصة باتجاه سطح الارض مما يعني بأن جزءا من الحرارة التي كانت ستبدد في الفضاء تحفظ لتزيد من حرارة طبقة الجو السفلى وسطح الارض وتسمى هذه بالظاهرة الدفيئة •

ومن اهم التدابير الواجب اتباعها للتقليل قدر الامكـــــان
من النفايات الغازية هو التخلص من الدقيقات المندفعة من مداخـــن
المصانع بواسطة الترسيب الالكتروستاتي للدقيقات المعلقة وبنـــاء
مداخن مرتفعة للمصانع . وكذلك تخفيض انطلاق الملوثات الغازيـــة
من السيارات بادخال انظمة لضبط الغازات وعدم استعمال البنزيـــن
الذي يحوي على الرصاص لما له من اضرار كبيرة على جسم الانسان .

المصطلحات العلمية

-A-

Abrasion	حت ـ سحج
Absolute humidity	الرطوبة المطلقة
Absorption	الامتصاص
Abyssal	نطاق الاعماق السحيقة
Abyssal rocks	صخور عميقة
Acid Lava	لابا حامضية
Acid rocks	صخور حامضية
Action	فعل
Adsorption	امتزاز
Aeolian process	عمليات ريحية
Aeration	تهوية
Aerosphere	المنطقة الريحية
Age	عمر
Agglowerate	رصيص بركاني
Alluvium	توضعات نهرية (طمي)
Amorphic	غير مبلور
Amorphoussubstances	مواد عديمة التبلور
Alpine chains	سلاسل البية
Amphiboles	امفيبولات(فلزات)

Amphibolite	امفيبوليت(صخر متحول)
Anatexis	تحول انصهاري(اناتكسيس)
Andesine	انديزين(بلاجيوكلاز)٠
Andesite	انديزيت(صخر بركاني)
Angular	زاوي
Angular fold	طية زاوية
Anhydrite	انهيدريت
Antarctica	قارة القطب الجنوبي
Anticline	محدب
Aragonite	ارغوانيت(فلز)
Areal erosion	الحت السطحي
Argillaceous rocks	الصخور الغضارية
Artesian	حوض ارتوازي
Artesien basin	نبع ارتوازي
Artesien spring Artesien water	مياه ارتوازية
Ash volcanic	رماد بركاني
Asphalt	اسفلت
Asthenosphere	الاستينوسفير
Atmosphere	الغلاف الجوي
Atmospheric agents	عوامل جوية
Atmospheric pressure	ضغط جوي
Atolls	الجزر المرجانية
Asymmetrical	غير متناظر

Avalanches	انهيارات ثلجية
Axial plane	المستوي المحوري
Axis	محور
Augite	اوجيت (فلز)
Authigenous	موضعي

-B-

Barkhan	برخان ،كثيب صحراوي
Barrier	حاجز
Basalt	بازلت
Basaltic columns	اعمدة بازلتية
Basaltic lava	لابا بازلتية
Base level	مستوى القاعدة
Basement rocks	صخور القاعدة
Basic lava	لابا اساسية
Basin	حوض
Bathial zone	نطاق الاعماق
Batholith	باثوليت
Bathyal	مناطق بحرية عميقة
Bauxite	بوكسيت
Bed, bedding	طبقة ، تطبق
Bedding plane	سطح التطبق
Belt	حزام
Bending	التواء

Beenthonic	قاعي
Bergshrund	هوة جليدية
Biosphere	الغلاف الحيوي(البيوسفير)
Biozone	نطاق حيوي
Bitumen	بيتوم
Blanket	النفطية
Block	كتلية
Bog	مستنقع
Bottomset	طبقات القاع
Bouldens	حجارة
Boulder	جلمود
Boulder clay	فخار جلمودي
Box fold	طية صندوقية
Brackish waters	مياه قليلة الملوحة
Breccia	بريش
Brecciation	تحطم بريش
Brine waters	مياه مالحة جدا
Brittle	هش
Building stone	حجر بناء

-C-

Calcareous	كلسي
Calcareous turf	طف كلسي
Calcite	كالسيت

Caldera	قمع بركاني(كالديرا)
Canyon	اخدود ،خانق ــ كانيون
Capture river	اسر الانهار
Carbonates	كربونات
Capillary waters	مياه شعرية
Cataclastic rock	صخر مهشم
Caspian sea	بحر قزوين
Cassiterite	كاستيريت(فلز)
Cavein	انهدام
Caving	انهيار
Cement	ملاط
Cementation	الالتحام
Channel	قناة
Chemical erosion	الحت الكيميائي
Cinder	رماد
Cirque	حلبة
Cleavage	تشقق
Closed fold	طية مغلقة
Colluvial deposits	رواسب جاذبية
Compalcion	تراص
Compression	ضغط ، انضغاط
Cone	مخروط
Cone depression	مخروط الانضغاط

Consequent river	نهر تابع
Contact	التماس
Contact metomorphisim	التحول التماسي
Continental drift	انزياح القارات
Continental glacier	جليدية قارية
Continental slop	منحدرقاري
Continental shelf	رف قاري
Contourline	خط المنسوب
Coral reefs	رصيف مرجاني
Coral limestone	حجر كلسي مرجاني
Corrasion	[illegible]
Crater	فوهة
Creep	زحف
Crevasses	شقوق جليدية
Crossbedding	تطبق متقطع

-D-

Debris	حطام ، انقاض
Decomposition	تفكك ، تحلل
Deep karstic hollows	فجوات كارستية عميقة
Deflation	تذرية
Deformation	تشوه
Degree of saturation	درجة الاشباع
Delta	دلتا النهر

Dendritic type	النمط الشجري
Denudation	حت
Deposits	توضع ـ رسوبات
Diagenesis	دياجينيز
Dolomite	دولوميت (فلز)
Diapir fold	طية ثاقبة
Differential forces	قوى موجهة (تمايزية)
Dislocations	تخلعات
Dip	ميل
Discharge	تصريف
Disconformity	لا توافق متخالف
Dome	قبة
Drag folds	طيات سحب
Drumline	الدروملين
Dunes	كثبان
Dunite	دونيت(صخر فوق اساسي)
Dykes	سدود رأسية او قاطعة
Dynamic geology	الجيولوجيا الديناميكية

-E-

Earth	الارض
Earth core	نواة الارض
Earthquake	هزة ارضية
Earth crust	القشرة الارضية

Echelon faults	فوالق سلمية
Eclogite	اكلوجيت(صخر متحول)
Economic geology	الجيولوجيا الاقتصادية
Effusive magmatism	الحادثة المهلية التدفقية
Elastic	مرن
Elastic limit	حد المرونة
Elastic deformation	تشوه مرن
Endogenetic	داخلي النشأة
Engineering geology	الجيولوجيا الهندية (الجيوهندسية)
Epicenter	المركز السطحي للزلزال
Errosion	نحت
Erosion agents	عوامل الحت
Erosion cycle	دورة الحت
Erratic boulders	جلاميد تائهة
Estuary	خليج نهري
Exfrusive rocks	صخور مخترجة
Exosphere	الغلاف الخارجي
Extinct volcano	بركان خامد

-F-

Facies	سحنة
Fan fold	طية مروحية
Fault	فالق
Fault dip	ميل الفالق

Fault plane	مستوي الفالق
Fiords	فيوردات
Filtration	الرشح
Flint nodules	عقد صوانية
Flood plain	سهل لحقي
Fluidity	ميوعة
Foliation	تورق
Fold	طية
Fold axis	محور الطية
Fold limb	جناح الطية
Foraminifera	المنخربات
Formation	تشكيلة
Fringing reefs	ارصفة هامشية
Fumanole	يحموم

-G-

Geomorphology	جيومورفولوجيا
Geosyncline	جيوسنكلنيال
Geothermal gradient	تدرج الحرارة الباطنية
Glacial deposits	رسوبات جليدية
Glacial erosion	الحت الجليدي
Glacial lake	بحيرة جليدية
Glacier	جليدية
Glaciology	علم الجليديات

Gneiss	غنايس
Graben	غرابن
Graded bedding	تطبق متدرج
Grannite	غرانيت(صخر حامضي)
Gravity fault	فالق جاذبية
Gravel	حصى
Gravity Force	قوة الجاذبية الارضية
Greisen	غريزن
Ground water	مياه جوفية
Gulf stream	غولف ستريم (تيار الخليج)
Gypsum	جص

-H-

Halides	هاليدات
Halite	هاليت(فلز)
Hanging glacier	جليدية معلقة
Hanging valley	وادي معلق
Hanging wall	جدار معلق
Hard	قاسي
Hardness	قساوة
Heave	ازاحة افقية
Heavy minerals	معادن ثقيلة
Hollowes	فجوات
Hornblende	هورنبلاند (فلز)

Horst	هورست
Hot spring	نبع حار
Humidity	الرطوبة
Humus	دبال
Hydration	اماهة
Hydraulic gradient	منحدر مائي
Hydrogeology	جيولوجيا المياه (هيدروجيولوجيا)
Hydrosphere	الغلاف المائي
Hydrothermal waters or solutions	محاليل حارة
Hypocenter	بؤرة الزلزال

-I-

Ice ages	اعصار او عصور جليدية
Ice barrier	حاجز جليدي
Ice bergs	جبال جليدية عائمة
Ice caps	قبعات جليدية
Ice sheets	الغطاءات الجليدية
Igneous rocks	صخور نارية
Impermeable	كتيم
Impervious rocks	صخور كتيمة
Inclined fold	طية مائلة
Interusive rocks	صخور مندسة
Inverted fold	طية مقلوبة
Isolinal fold	طية متساوية الميل

Isoseisual lines	خطوط تساوي شدة الزلزال
Isotropic	متساوي الخواص

-J-

Joints	فواصل
Juvenile water	الماء البكر(او الصهاري)

-K-

Kame	الكام
Kaolinite	الكاولينيت
Karst	الكارست
Karstic waters	مياه كارستية
Kimberlite	كمبرليت(صخر فوق اساسي)
Klastic /rock	حطامي /صخر

-L-

Laccolith	لاكوليت
Lacustrine	بحيري
Lagoon	لاغون(بحيرة شاطئية)
Land-Slide	انزلاق ارضي
Land-Surface	سطح الارض
Land subsidence	انخفاض الارض
Lapilli	لابيلي(حصى بركاني)
Lateral	جانبي
Lateral moraine	مورين جانبي
Laterite	لاتيريـــت

La a	لابا
Lava flood	سيل لابا
Layer	طبقة
Lens	عدسة
Level	مستوى البحر
Limb	جناح الفالق
Limestone	حجر كلسي
Limnology	علم البحيرات
Lithosphere	الغلاف الصخري
Littoral	شاطىء
Loess	اللوس
Loulders	جلاميد
Low and bogs	مستنقعات الاراضي المنخفضة

-M-

Maar	مار(بحيرة بركانية)
Magma	مهل و ماغما
Magmatism	الحادثة المهلية
Mantale of waste	قشرة التجوية
Marine currents	تيارات بحرية
Materials	مواد
Meanders	تعرجات نهرية
Mechanism	آلية
Metamorphism	تحول

Metamorphic avreale	المنطقة المتحولة
Metamophic grade	درجة التحول
Metamorphism/ Contact	التحول التماسي
Metamorphism of rocks	تحول الصخور
Metamorphism /dynamic	التحول الديناميكي
Metamorphism / regional	التحول الاقليمي
Micaschist	ميكا شيست
Mineral deposits	توضعات فلزية
Mineralization	تمعدن
Mineral waters	مياه معدنية
Mineralogy	مينيرالوجيا (علم الفلزات)
Minerals	معادن
Mofette	موفيت
Monoclinic fold	طية وحيدة الميل
Moor	مستنقع
Moraiens	مورينات
Mountain chains	سلاسل جبلية
Mud	طين
Mud volcano	بركان طيني

-N-

Natural	طبيعي
Neritic zone	النطاق الضحل او النيريتي
Neve	ثلج حبيبي

Noclules	عقد او عقيدات
Normal Fault	فالق عادي
Nunataks	نواتئ

-O-

Ocean floor	قعر المحيط
Oceanic trench	غور محيطي
Oceanography	علم المحيطات
Offlap	انسحاب
Opern fold	طية مفتوحة
Opening	فتحة
Organic sediments	رسوبات عضوية
Organogenic	عضوي المنشأ
Orogenic Movements	حركات بانية للجبال
Outcrop	تكشف
Over flow	فيضان
Over fold	طية منقلبة
Over thhust	جرف
Outwashdeposits	رسوبات الانجراف
Oxbow lake	بحيرة هلالية
Oxidation	اكسدة

-P-

Pebbles	حصباء
Perennial spring	نبع دائم

Permeability	نفاذية
Permeability coefficient	عامل النفاذية
Petropgraphy	طبقة نفوذة
Petrography	بتروغرافيا
Petroleum	بترول
Phacolith	فاكوليت
Phase	طور
Physical geology	جيولوجيا فيزياثية
Plankton	بلانكتون(عوالق)
Plastic deformation	تشوه لدن
Plutonic rocks	صخور الاعماق
Plutonism	الحادثة المهلية الجوفية
Pneumatolytic metamorphism	تحول نيوماتوليتي
Porosity	مسامية
Potholes	حفر وعائية
Pressure	ضغط
Process	عملية
Pyroxene	بيروكسين
Pyroxnite	بيروكسينيت

-Q-

Quarry stone	حجر البناء
Quartz	كوارتز
Quartzite	كوارتزيت

Quaternary	رباعي

-R-

Radiolarite	راديولاريت
Ravine	مسيل
Recrystallization	اعادة التبلور
Recurmbent fold	طية منقلبة
Reduction of rocks	تفتت الصخور
Reef	رصيف
Regional geology	جيولوجيا اقليمية
Regional metamorphism	تحول اقليمي
Regression	انحسار البحر
Relative	نسبي
Resevoir	خازن(صخر)
Reverse	فالق عكسي
Ripple marks	تماريج الامواج
River erosion	حت نهري
River glaciers	انهار جليدية
River terrace	مصطبة نهرية
Rock	صخر
Rock composition	تركيب الصخر
Rock constituents	مكونات الصخر
Rock deformation	تشوه الصخر
Roches moutonees	صخور غنمية

Rock slide	انزلاق الصخر
Rupture	انقطاع

-S-

Saline water	مياه مالحة
Sand	رمل
Sand stone	صخر رملي
Sapropel	اوحال عضوية (سابروبيل)
Secondary	ثانوي
Secondary waves	امواج ثانوية
Sedimentary rocks	صخور رسوبية
Seismic waver	موجة اهتزازية
Seismography	السيسموغراف(جهاز تسجيل الهزات)
Seismogran	السيسموغرام (السجل الزلزالي)
Seismology	السيسمولوجيا (علم الزلازل)
Serpentine	سربنتين
Shiffing	انزياح
Shield volcanoes	براكين درعية
Shore reef	رصيف شاطئي
Shrinkage	انكماش
Sill	عرق طبقي
Silt	طمي ، سيلت
Skarn	سكارن
Slip	انزلاق

Slop	منحدر
Solfatara	سلفتار
Spongolite	سبونغوليت
Spring	نبع
Stage of maturity	مرحلة النضج
Stage of old age	مرحلة الشيخوخة
Stalactites	نوازل
Stalagmites	صواعد
Steep	شديد الانحدار
Step foult	فالق سلمي
Stiff	قاسي
Stock	ستوك
Stratified volcano	بركان متطبق
Stratigraphy	ستراتيغرافيا (علم الطبقية)
Stratosphere	الستراتوسفير (الغلاف الطبقي)
Stresses	الاجهادات
Strik	امتداد ـ اتجاه
Structure geology	جيولوجيا بنيوية
Surface piezometrigue	منسوب الماء البيزومتري
Surface tension	توتر سطحي
Surface wave	موجة سطحية
Surficial	سطحي
Syncline	طبقة مقعرة (مقعر)

Tectonic تيكتونيك

Tectonic dislocations تخلعات تكتونية

Tension [illegible]

Thermal spring نبع حار

Throw رمية

Tidal امواج الشد

Tide مد

Till ركام جليدي تيل

Transgression تجاوز البحر

Transportation نقل

Treads مصاطب

Trellis النمط العريشي

Trench غور

Troposphere تروبوسفير

Tsunamis تسونامي(زلازل بحرية)

Tuffite طفيت ،طف بركاني بحري

Turbidity currents تيارات العكر

Turf فحم التورب

Type نمط

-U-

Ultrabasic rocks صخور فوق اساسية

Under ground drainage صرف جوفي

Uniform	منتظم
Unstable	غير مستقر

-V-

Viscosity	لزوجة
Voidration	عامل المسامية
Volcanic	بركاني
Volcanic activity	نشاط بركاني
Volcanic agglomerate	رصيص بركاني
Volcanic ash	رماد بركاني
Volcanic bomb	قنبلة بركانية
Volcanic cloud	سحابة بركانية
Volcanic cone	مخروط بركاني
Volcanic ejecta	مقذوفات بركانية
Volcanic glass	زجاج بركاني
Volcanic vapours	ابخرةبركانية
Volcnaic rocks	صخور بركانية
Volcanic tuff	طف بركاني
Volcanism	البركنة
Volcano	بركان
Volcanology	علم البراكين

-W-

Wallastonite	ولاستونيت
Water cycle	دورة المياه

Water saturation	مشبع بالماء
Water soluble	قابل للانحلال بالماء
Water table	سطح الماء
Weathering	تجوية
Wells	الآبار
Wind erosion	حت ريحي
Wind belts	احزمة ريحية
Winds	رياح

-Y-

Yarding	اخاديد ناتجة بفعل الحت الريحي
Yound volcano	بركان حديث
Youth stage	مرحلة الشباب

-Z-

Zone	نطاق
Zone metamorphic	نطاق تحولي
Zone stratigraphic	نطاق طبقي

المراجع

١- ابراهيم باشا ،علي فؤاد وعبود محمد وقدور طه ومحمد احمد محمد، ١٩٩٠- الجيولوجيا العامة (١)- الجيولوجيا الفيزيائية منشورات جامعة حلب .

٢- ابراهيم باشا ،علي فؤاد ، وكلنا جمال، واسماعيل محمد ومجي جورج ، ١٩٩١- الجيولوجيا العامة (٢)- منشورات جامعة حلب .

٣- الحصري سميرة، ١٩٨١- الجيولوجيا الفيزيائية (٢)- مطبوعات جامعة دمشق ، دمشق .

٤- الخيمي محمد نموح ومحفوظ محمد انور، ١٩٨٥- الجيولوجيا العامة (١)- مطبوعات جامعة دمشق - دمشق .

٥- الصائغ عبد الهادي والعمري فاروق صنع الله ، ١٩٧٧- الجيولوجيا العامة- منشورات جامعة الموصل .

٦- بنانة محي الدين، ١٩٨١- الجيولوجيا الهندسية ،مطبوعات جامعة دمشق، دمشق .

٧- [illegible] زياد والحكر نزار ، ١٩٨٠- الارض وتكوينها ، مطبوعات [illegible] الانماء العربي .

٨- حسن محمد يوسف ،شريف عمر الحسين ،النقاش عدنان باقر،١٩٨٣-
اساسيات علم الجيولوجيا،دار جون وايلي وابنائه .

٩- جودة حسين جودة،معالم سطح الارض ،دار النهضة العربيـــــــة،
بيروت .

- :الاجنبيــة

1.BELOUSORV,V.(1968) Structural Geology. Mir Publishers,
Moscow.

2. FOSTER R.J., (1976) - General Geology,Third Ed.,
Charles E.Merril Publishing CO.U.S.A.

3.GORSHKOV,G., and YAKUSHOVA,A.,(1977) - Physical Geology
Mir Publishers, Moscow.

4.MILOVSKY A.V_(1982)- Mineralogy and Peterography.Mir
Publishers, Moscow

5.SANDERS;J.E., and ERSON,A.E., and CAROLAR(1976)-
Physical Geology, Harpers, New York.

6.VASILIEV YU,M., MILNICHUK V.S. and ARABAJI M.S(1981)
General and Historical Geology.Mir Publishers;
Moscow.

7- Ананьев В.П. /1973/. Инженерная геология. Высшая школа, Москва.

8- Горбачов А.М. /1981/. Общая геология. Высшая школа, Москва.

9- Горшков Г.П., Якушова А.Ф. /1973/. Общая геология. МГУ, Москва.

10-Кеильман Г.А., Болтыров Б.Б. /1985/. Основы геологии, Недра, Москва.

11-Ломтадзе В.Д. /1977/. Инженерная геология. Высшая школа, Москва.

12-Михайлов А.Е. /1984/. Структурная геология и геологическое картирование. Недра, Москва.

13-Пешковский Л.М., Перескокова Т.М. /1982/. Инженерная геология.

14-Хаин В.Е. /1978/. Общая геотектоника. Недра, Москва.

الفهرس

٢ـ العمليات الجيولوجية الداخلية	٩٥
ـ مقدمة	
٢ـ١ـ الحادثة المهلية	١٩٩
٢ـ١ـ١ـ اسباب نشوء المهارة المغماتية	٢٠٠
٢ـ١ـ٢ـ مظاهر الحادثة المهليّة	٢٠١
٢ـ١ـ٣ـ اهمية الحادثة المهلية في تشكيل مكامن الخامات المفيدة .	٢٣١
٢ـ٢ـ التحول	٢٣٥
٢ـ٢ـ١ـ عوامل التحول	٢٣٦
٢ـ٢ـ٢ـ انواع التحول.	٢٤٢
٢ـ٢ـ٣ـ دور عمليات التحول في تشكيل مكامن الخامات المفيدة.	٢٥٠
٢ـ٣ـ التشوهات التكتونية	٢٥٣
٢ـ٣ـ١ـ ميكانيكية تشوه الصخور	٢٥٣
٢ـ٣ـ٢ـ انواع التشوهات التكتونية .	٢٦٩
٢ـ٣ـ٣ـ اسباب التشوهات التكتونية .	٢٩٧
٢ـ٤ـ الزلازل	٣٠١
٢ـ٤ـ١ـ مقدمة عامة .	٣٠١

UNIVERSITY OF ALEPPO
FACULTY OF SCIENCE
DEPARTMENT OF GEOLOGY

PHYSICAL GEOLOGY
'2'

BY

DR. A.M. MOHAMMED